Prof.univ.dr.ing. **Ioan-Lucian BOLUNDUȚ**

MATERIALE ŞI TEHNOLOGII NECONVENȚIONALE

Moto:

Conştiința este ceva care nu te împiedică niciodată să comiți un păcat, dar te împiedică să te bucuri de el în pace.

Theodore Dreiser (1871-1945) - scriitor american

EDITURA TEHNICA-INFO
CHIŞINĂU, 2012

620.22+621.7(075.8)
B 91

Referenţi ştiinţifici:

Prof.univ.dr.ing. ***Sorin DIMITRIU***
Universitatea *„Politehnica”* din Bucureşti
Prof.univ.dr.ing. ***Ioan VIDA-SIMITI***
Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Conf.univ.dr.ing. ***Alexei TOCA***
Universitatea Tehnică a Moldovei din Chişinău

Coordonatori serie:
Prof.univ.dr.ing. ***Alexandru MARIN***
Prof.univ.dr.ing. ***Dragoş PARASCHIV***

Descrierea CIP a Camerei Naţionale a Cărţii

Materiale şi tehnologii neconvenţionale/: */ Ioan-Lucian Bolunduţ*

- Ch.: „Tehnica – Info” SRL, 2012 – 228 p.

ISBN: 978-9975-63-334-5

CZU: 620.22+621.7(075.8)

B 91

250 ex.

Redactor: Conf.univ.dr.ing. **Sorin Mihăilescu**
Tehnoredactare computerizată: **Alina-Ana Csiki**
Coperta: ing. **Cornel Chirilă**

MATERIALS AND UNCONVENTIONAL TEHNOLOGIES

The materials were the basis for all industrial conquests: steel for rails, copper for electricity, aluminium for aircraft, plastics for consumer goods after World War II and silicon for computers. Separation of traditional materials (metals and alloys, ceramics and polymers) of the advanced is increasingly harder to do, because now considered advanced material; it may be that tomorrow into the traditional category.

Using new materials is a classic screen play: their price drops as they pass from the top industries in the ordinary. Thus, materials used initial in armament or aerospace industries, are taken by car manufacturers and end up being consumer goods. For example, composite materials have conquered aerospace industries, at the expense of aluminium alloys, that replace the steel in automobile construction. At the same time, some of these materials are very fragile, or superhard, or very thin and can not be processed only through unconventional processes.

So, subject of this book is advanced materials and unconventional technologies. The book is addressed to students of technical profiles who have in curriculum this discipline, but it is also useful to engineers, technicians, designers and researchers in metallurgy and machine building.

CONTENTS

PREFAȚĂ

Materialele au stat la baza tuturor cuceririlor industriale: oțelul pentru calea ferată, cuprul pentru electricitate, aluminiul pentru aviație, materialele plastice pentru bunurile de consum de după război, iar siliciul pentru informatică. Separarea materialelor tradiționale (metale şi aliaje, ceramice şi polimeri) de cele avansate este din ce în ce mai greu de făcut, pentru că un material considerat astăzi avansat, s-ar putea ca mâine să intre în categoria celor tradiționale. Folosirea materialelor noi se realizează după un scenariu clasic: pe măsură ce prețul lor scade, ele trec din industriile de vârf, în cele obişnuite. Astfel, materialele folosite inițial în industriile de armament sau aerospațială, sunt preluate de constructorii de automobile şi sfârşesc prin a fi bunuri de consum. De exemplu, materialele compozite au cucerit industria aerospațială, în detrimentul aliajelor de aluminiu, care înlocuiesc oțelul în construcția de automobile. În acelaşi timp, unele din aceste materiale sunt fie foarte fragile, fie extradure, fie foarte subțiri şi nu se pot prelucra decât prin procedee neconvenționale. Obiectul prezentei cărți îl constituie deci materialele avansate şi tehnologiile neconvenționale.

Materialele tradiționale sunt tratate foarte succint, fiind amintite materialele metalice (feroase şi neferoase), plasticele şi ceramicele. Ele se folosesc pe scară largă în toate domeniile de activitate, la prețuri accesibile, în funcție de proprietățile fizico-mecanice sau chimice pe care le au.

Materialele avansate sunt tratate pe larg, cuprinzând toate cele patru tipuri de materiale utilizate în tehnică (metalice, plastice, ceramice şi compozite), precum şi unele tipuri care nu pot fi încadrate în nici una din aceste categorii.

Catalogul mondial al materialelor metalice cuprinde circa 18.000 de produse, din care multe sunt considerate avansate. Dintre acestea, se pot aminti oțelurile avansate de înaltă rezistență, superaliajele, spumele metalice, aliajele amorfe şi aliajele uşoare. În industriile moderne sunt indispensabile metalele de înaltă tehnicitate, multe din ele scumpe şi rare: tantal (telefoane mobile), paladiu şi ceriu (tobe catalitice de eşapament), indiu (ecrane plate LCD), reniu (turbine), germaniu (internet mobil wi-fi), galiu (electronică), titan (aeronautică militară şi civilă). Producția mondială a acestor metale nu depăşeşte 50 t/an, datorită răspândirii foarte reduse în scoarța terestră, dar impactul lor în prețul final al produselor este semnificativ. Astfel, reniul care intră în construcția unui turboreactor pentru avioane reprezintă doar 6% din masa acestuia, dar are un preț de 80% din costul total al materialelor turboreactorului.

Polimerii avansați se pot folosi la temperaturi de până la 300 ^{0}C, față de 70…120 ^{0}C la cât se pot utiliza cei obişnuiți. Mai există polimeri conductori, folosiți în electronică şi la panourile solare, polimeri fotonici (displayuri LCD şi LEP), polimeri biodegradabili şi biocompatibili şi dendrimeri (utilizați în medicină). Toți aceştia îmbină proprietățile specifice materialelor plastice cu anumite proprietăți induse, specifice metalelor şi aliajelor.

Ceramica avansată are proprietăți indispensabile dezvoltării tehnologiilor

de vârf: rezistențe la uzură, la temperatură şi la acțiunea agenților chimici, duritate, stabilitate dimensională şi posibilități de prelucrare rapidă în piese, precum şi proprietăți electrice, magnetice, optice, supraconductoare, termice, termomecanice sau biomedicale.

Materialele compozite sunt alcătuite dintr-o osatură numită ranfort încorporată în masa unei matrice. Materialele de ranforsare pot fi sub formă de particule, fibre sau plăci, iar matricele sunt de natură plastică, metalică sau ceramică. Primul compozit utilizat a fost lemnul, un compozit natural, iar mai târziu, betonul şi betonul armat. Astăzi materialele compozite fac parte din viața noastră, întâlnindu-se de la carcasele de telefoane mobile şi televizoare, până la articole sportive performante şi construcțiile aerospațiale.

Din categoria altor tipuri de materiale avansate fac parte materialele magnetice (moi şi dure), fibrele optice (multimodale şi unimodale), betoanele avansate (autonivelante, decorative, amprentate, fotocatalitice, conductoare şi translucide), supraconductoarele şi materialele inteligente (dure şi moi). Fiecare din aceste materiale au proprietăți specifice, se fabrică prin procedee aparte şi se aplică în domenii noi de activitate, începând cu avioanele sau luptătorii invizibili, până la cele mai sofisticate metode de investigație medicală. Majoritatea Premiilor Nobel pentru fizică şi chimie din ultimii ani au fost acordate pentru descoperirea unor astfel de materiale în marile laboratoare de cercetare din lume.

Tehnologiile neconvenționale se bazează pe fenomenul de eroziune, adică pe acțiunea de îndepărtare a materialului de la suprafața unei piese de către un agent eroziv. Agentul eroziv este un sistem fizico-chimic sau fizico-mecanic complex care cedează piesei energie de natură electrică, electromagnetică, electrochimică, termică, de radiație, chimică sau mecanică. Energia agentului eroziv distruge stratul superficial al piesei de prelucrat prin topire, vaporizare şi ruperi de material sub formă de microparticule sau prin coroziune. Se tratează succint electroeroziunea, eroziunile chimică, electrochimică, cu plasmă, cu radia-ții şi cu ultrasunete.

Materialele avansate şi tehnologiile neconvenționale se înscriu într-un context în care competiția globală şi dezindustrializarea rapidă vor permite țărilor dezvoltate să-şi prezerve avantajul tehnologic. Omenirea va avea nevoie pentru multă vreme de metale şi alte materiale tradiționale, desigur, în cantități mai mici, dar sub forme mult mai elaborate. Oare , dezindustrializarea nu înseamnă dislocarea industriilor tradiționale din țările dezvoltate în economiile emergente, unde materiile prime şi, mai ales, manopera sunt mult mai ieftine?

Cartea se adresează studenților profilurilor tehnice care au în programa de învățământ această disciplină, dar este utilă şi inginerilor, tehnicienilor, proiec-tanților şi cercetătorilor din metalurgie şi construcții de maşini.

Petroşani, decembrie 2011 AUTORUL

CUPRINS

PARTEA ÎNTÂI

MATERIALE

1

INTRODUCERE ÎN ŞTIINŢA MATERIALELOR

1.1. Generalităţi

Ştiinţa materialelor tratează probleme interdisciplinare, implicând proprietăţile materiei şi aplicaţiile ei în diverse domenii ale tehnicii şi tehnologiei şi folosind cunoştinţe de fizică aplicată, chimie, inginerie mecanică şi electrică. După apariţia, în ultimii ani, a nanoştiinţelor şi nanotehnologiilor, ştiinţa materialelor a fost propulsată în avangarda multor universităţi de prestigiu din lume.

Cunoştinţele oamenilor despre materiale încep odată cu olăritul, dezvoltându-se din epoca pietrei în cea a bronzului şi apoi a oţelului. Ştiinţa materialelor moderne s-a dezvoltat din metalurgie, iar metalurgia din minerit. Dacă la începutul secolului XX ea se ocupa doar de metale, pe la jumătatea acestui secol ea a inclus şi materialele plastice şi ceramice, iar mai recent şi pe cele compozite.

Principalele materiale utilizate în industrie sunt cele *metalice*. Dintre acestea, aliajele feroase (fontele şi oţelurile) reprezintă circa 90%, restul de 10% fiind metale şi aliaje neferoase. Fonta se elaborează în furnal şi din cauza conţinutului mare de carbon este dură şi fragilă şi nu se poate utiliza în această stare. Proprietăţile sale mecanice se pot îmbunătăţi prin adăugarea unor elemente care transformă grafitul lamelar în grafit nodular (Mg, Si, Ca, Ba), precum şi prin aplicarea unor recoaceri de maleabilizare sau prin aliere cu diverse elemente (Si, Mn, Cr, Ni, Mo, Al, Cu). Oţelul conţine mai puţin carbon şi are proprietăţi mecanice bune. Creşterea conţinutului de carbon conduce la creşterea durităţii şi a rezistenţei la rupere, dar şi la scăderea ductilităţii şi a tenacităţii. Prin aliere cu peste 10% crom, nichel şi molibden, devine inoxidabil.

Metalele şi aliajele neferoase sunt mai scumpe şi mai rare şi se utilizează în domenii care reclamă proprietăţi fizico-mecanice sau chimice speciale. Unele dintre ele sunt foarte vechi şi au avut o importanţă mare în dezvoltarea societăţii umane. Astfel, bronzul a fost descoperit în jurul anului 3500 î.Hr. în Mesopotamia şi Sumer şi a avut o asemenea importanţă încât mileniul al doilea î.Hr. se mai numeşte în istorie şi *epoca bronzului*. Mai aproape de vremurile noastre s-au descoperit aliajele aluminiului, titanului şi magneziului, apreciate pentru greutatea redusă şi rezistenţa ridicată şi folosite pe scară largă în construcţiile aerospaţiale şi în industria automobilelor.

Materialele plastice au fost descoperite în secolul trecut şi astăzi au ajuns să le depăşească, în volum, pe cele metalice datorită unor proprietăţi favorabile: sunt ieftine şi uşoare, rezistente la oxidare şi coroziune şi permit modificarea

proprietăţilor prin folosirea unor aditivi. Unele se pot recicla prin solubilizare sau topire, iar aplicaţiile lor acoperă aproape toate domeniile activităţii umane, de la banalele pungi pentru cumpărături şi jucării, până la conductele subterane de apă şi gaze care le înlocuiesc treptat pe cele metalice. Reciclarea materialelor plastice este foarte importantă, având în vedere faptul că peste 90% din acestea provin din petrol şi gaze naturale – materii prime valoroase şi din ce în ce mai deficitare. Ca urmare, prin reciclare nu se urmăreşte doar prelucrarea deşeurilor (reciclare mecanică), ci şi utilizarea unor tehnologii avansate, bazate pe depolimerizare, care sparg lanţurile de hidrocarburi ce alcătuiesc materialele plastice şi cauciucul sintetic, obţinându-se monomeri (reciclare chimică).

Principalele materiale plastice sunt polietilena, polipropilena, policlorura de vinil, polistirenul, poliamida, poliesterul, poliuretanul şi policarbonatul. Ele se prelucrează prin diverse procedee tehnologice (presare, injecţie, extrudare, expandare, calandrare, sudare, lipire, ştanţare, aşchiere), dar nu se pot utiliza la temperaturi mai mari de circa 200 ^{o}C.

A treia categorie de materiale utilizate în tehnică o constituie grupa *materialelor ceramice*. Ceramica utilitară a apărut odată cu omenirea, vasele şi cărămizile fiind primele produse obţinute de om, prin arderea argilei. Din aceasta s-a dezvoltat apoi ceramica de artă care s-a îndepărtat de funcţia utilitară şi s-a centrat pe valoarea decorativă şi estetică. Pe la mijlocul secolului trecut a apărut ceramica industrială, ca urmare a dezvoltării industriilor de vârf care utilizează materiale pe bază de oxizi, carburi, nitrúri, borúri şi diverse forme de carbon.

Materialele ceramice sunt dure şi rezistente la uzură şi la temperaturi ridicate, iar sursele de materii prime din care provin sunt practic nelimitate. Folosirea lor este limitată de fragilitate şi de rezistenţa scăzută la tracţiune. Ele se utilizează la fabricarea unor materiale de construcţii (cărămidă, ţiglă, teracotă, faianţă, gresie) sau de artă (porţelan, mozaic), precum şi în domeniul industrial (scule aşchietoare, electrotehnică şi electronică, izolaţii termice, aplicaţii tribologice şi medicale). Prin dozarea corespunzătoare a constituenţilor, îndeosebi a pământurilor rare, ceramicele pot fi izolatoare electrice, semiconductoare, conductoare sau chiar supraconductoare. De altfel, pentru cercetări în domeniul supraconductibilităţii materialelor ceramice s-au acordat câteva Premii Nobel. Printre aplicaţiile de vârf ale ceramicii industriale se menţionează rulmenţii ceramici care funcţionează fără ungere şi implanturile ceramice care înlocuiesc oase ale scheletului uman.

Materialele compozite sunt alcătuite dintr-o osatură încorporată în masa unei matrice. Primul compozit utilizat a fost lemnul, un compozit natural, iar mai târziu, betonul şi betonul armat. Carcasele de televizor şi telefoane mobile sunt şi ele confecţionate din materiale compozite, având o matrice termoplastică armată cu particule de cretă şi talc şi cu fibre tocate de sticlă sau de carbon.

Materialele de ranforsare pot fi sub formă de particule, fibre sau plăci, iar matricele sunt de natură plastică, metalică sau ceramică. Procedeele de prelucrare sunt foarte variate (formare manuală, turnare, laminare, presare, înfăşurare), ţinând cont de natura materialului matricei şi de configuraţia armăturii.

Ştiinţa şi ingineria materialelor este deci o disciplină complexă care studiază proprietăţile, structura şi domeniile de aplicare ale celor patru mari categorii de materiale. Din această disciplină s-au desprins recent alte ramuri ştiinţifice: nanotehnologia, microtehnica, biomaterialele, tribologia şi ceramografia.

1.2. Tipuri de materiale

În funcţie de legăturile existente între atomi şi de microstructură, materialele se pot clasifica după schema prezentată în fig. 1.1.

Legătura metalică se datorează atracţiei dintre scheletul ionic pozitiv şi fluxul electronilor liberi şi este caracteristică materialelor metalice. Legăturile ionică şi covalentă sunt specifice materialelor ceramice şi se caracterizează printr-o aşezare alternativă a ionilor pozitivi şi negativi în reţelele cristaline sau pe punerea în comun a câte unui electron de valenţă, între doi atomi vecini de aceeaşi natură. Legătura de adsorbţie caracterizează materialele plastice, adsorbţia fiind fenomenul de penetrare superficială a unui gaz sau a unui lichid într-un solid.

După perioada apariţiei lor şi mai ales după proprietăţile pe care le posedă, materialele pot fi tradiţionale sau clasice şi neconvenţionale sau avansate. Se poate spune că materialele tradiţionale şi-au atins limitele constructive. În prezent, prin dezvoltarea vertiginoasă a tehnicii şi tehnologiei sunt necesare materiale care să lucreze în condiţii extreme de forţe, presiuni, temperaturi, radiaţii, precum şi în medii agresive sau în vid. Acestea sunt materiale avansate.

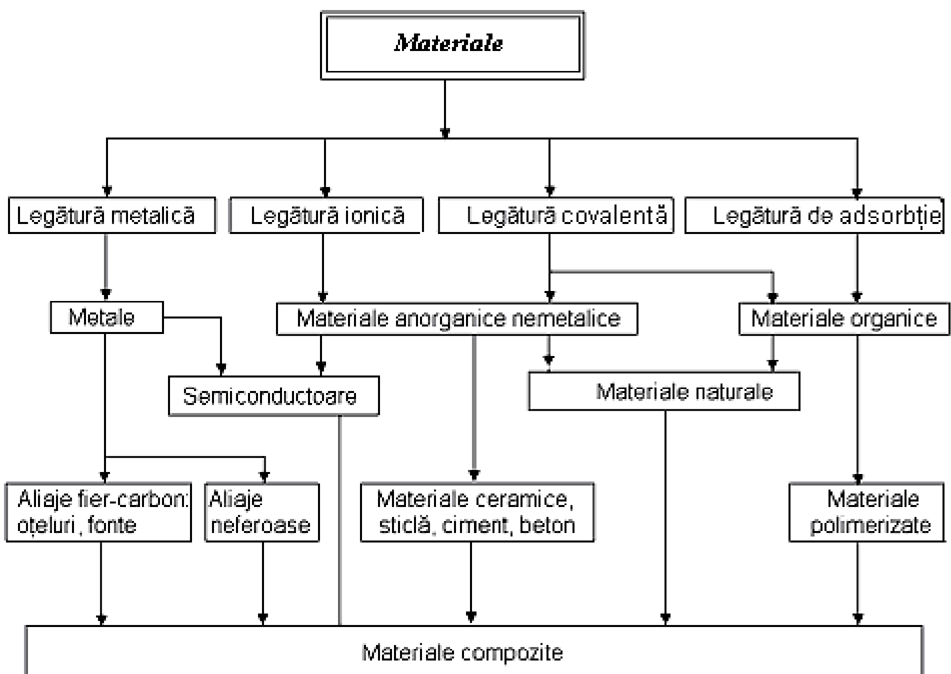


Fig.1.1. Clasificarea materialelor în funcţie de legăturile interatomice şi de microstructură.

2

MATERIALE TRADIȚIONALE

2.1. Materiale metalice

În tehnica actuală, pentru executarea pieselor şi a diverselor produse, se utilizează în mare măsură materiale metalice, adică metale şi aliaje. *Metalele* sunt elemente chimice cu luciu caracteristic, bune conducătoare de căldură şi electricitate, maleabile şi ductile, dar se folosesc mai rar din cauza proprietăților defavorabile şi a prețului ridicat. *Aliajele* sunt materiale metalice obținute prin topirea împreună a două sau mai multor metale sau a unor metale şi metaloizi, având proprietăți şi însuşiri adecvate domeniilor de utilizare dorite şi preț mai redus.

După natura lor, materialele metalice se împart în două categorii:

- *materiale feroase* (fier, fonte şi oțeluri) care reprezintă circa 90% din consumul mondial de materiale metalice;
- *materiale neferoase* (cupru, aluminiu, magneziu, zinc, plumb, staniu, nichel, wolfram etc. şi aliajele lor), acestea reprezentând restul de 10% din consumul mondial.

2.1.1. Materiale feroase

Aliajele fier-carbon numite *fonte* şi *oțeluri* sunt cele mai cunoscute materiale metalice utilizate în tehnică datorită răspândirii largi în scoarța pământului a materiilor prime din care provin, metalurgiei relativ simple, proprietăților fizico-mecanice bune şi care pot fi modificate în limite largi prin aliere şi tratamente termice, prețului de cost relativ scăzut, posibilităților de prelucrare prin toate procedeele tehnologice existente şi reciclării prin retopire.

Fierul este un metal de culoare cenuşie-albăstruie, cu proprietățile fizico-mecanice prezentate în tabelul 2.1. Fierul se prelucrează bine prin deformare plastică la cald şi la rece, se sudează, se lipeşte şi are o aşchiabilitate bună.

Elementul principal de aliere a fierului este carbonul care, chiar în cantități mici, îi schimbă proprietățile, conținutul de carbon constituind de fapt criteriul principal de clasificare a fontelor şi oțelurilor. Aliajele fier-carbon mai conțin mangan, siliciu, fosfor, sulf etc. *Manganul* se introduce voit în aliaj, mărindu-i duritatea şi rezistența la uzură, *siliciul* provine din sterilul minereurilor, mărindu-i elasticitatea şi rezistența la oboseală, iar *fosforul* şi *sulful* sunt elemente dăunătoare care nu se pot înlătura complet şi provin din cocs, iar în cocs, din cărbuni. Fosforul produce fragilitate la rece, iar sulful, fragilitate la cald.

Desigur, fierul se poate alia cu orice cantitate de carbon, dar din punct de vedere tehnic interesează doar aliajele fier-carbon care conțin 0,006…6,67 % C. Practic, se utilizează oțeluri cu până la 1,5 % C şi fonte cu până la 4,5 % C.

Tabelul 2.1. **Proprietățile fizico-mecanice ale fierului**

Proprietăți fizice							**Proprietăți mecanice**							
ρ [kg/m^3]	θ_t [ºC]	c_p [J/kg·K]	λ [W/m·K]	α [K^{-1}] (la 100ºC)	ρ [μΩ·m]	σ [MS/m]	R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]	Z [%]	KCU [kJ/m^2]	HB [MPa]	E [GPa]
7,87·10^3	1538	454	74	11,9	0,0037	270,2	289,5	174,3	47	90	2350	750…1150	210 … 235

2.1.1.1. Fonta este un aliaj fier-carbon care conține 2,11…6,67 % C şi în cantități mici, mangan, siliciu, fosfor, sulf etc. Ea se obține într-o instalație complexă numită *furnal*, din minereuri de fier şi mangan, fondanți pentru formarea zgurei, combustibili prin arderea cărora se dezvoltă căldura necesară topirii materiilor prime solide şi comburant (aer îmbogățit în oxigen) pentru întreținerea arderii. În urma unor reacții fizico-chimice complexe, din furnal rezultă fontă, zgură şi gaz de furnal.

Proprietățile fontelor variază în limite largi, în funcție de structura acestora, astfel: masa volumică ρ = 7…7,7 kg/dm^3, rezistența la rupere R_m = 10…150 daN/mm^2, alungirea relativă A = 0,2…25 %, reziliența KCU = 0…17 daJ/cm^2, duritatea Brinell HB = 120…700 daN/mm^2.

Fontele au proprietăți slabe de forjabilitate şi sudabilitate, dar se toarnă uşor şi au o capacitate bună de amortizare a vibrațiilor, fapt pentru care se utilizează la construcția batiurilor maşinilor-unelte. De asemenea, se utilizează cu precădere la fabricarea unor piese turnate care au proprietăți mecanice bune şi prețuri de cost mai scăzute decât ale celor deformate plastic sau sudate. În cea mai mare parte însă fontele sunt destinate elaborării oțelurilor, prin reducere indirectă.

Clasificarea fontelor se face după mai multe criterii, acestea fiind prezentate în fig. 2.1.

a) – Fontele brute (***primare***) sunt cele obținute în furnal, conținând 2,3 … 5 % C şi cantități acceptabile de Mn, Si, P, S etc. În funcție de compoziția chimică, felul în care sunt produse şi modul de utilizare, pot fi fonte de afinare, de turnătorie şi aliate.

- *fontele de afinare* sunt destinate elaborării oțelului în convertizoare sau cuptoare cu vatră, precum şi turnării unor piese rezistente la uzură şi la acțiunea erozivă prin cavitație;

- *fontele brute de turnătorie* sunt destinate elaborării fontei de a doua fuziune, din care se obțin piesele turnate;

- *fontele brute aliate* se utilizează la elaborarea oțelurilor, ca dezoxidant sau ca adaos de aliere.

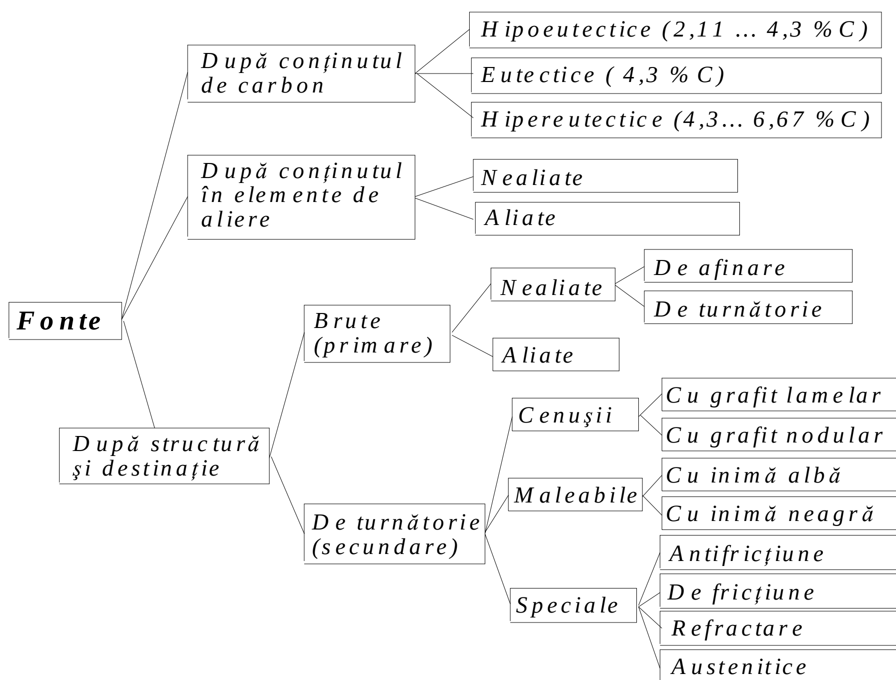


Fig. 2.1. Clasificarea generală a fontelor.

b) – Fontele de turnătorie (***secundare***) sunt fonte de a doua fuziune, elaborate în cuptoare electrice şi destinate turnării pieselor în construcţia de maşini.

După structură şi destinaţie pot fi: cenuşii, maleabile şi speciale.

- *fontele cenuşii* au carbonul, în cea mai mare parte sau în totalitate, sub formă de grafit lamelar sau nodular, iar în ruptură prezintă un aspect cenuşiu;

- *fontele maleabile* sunt fonte cu grafit în formă de cuiburi, obţinute din fontele albe printr-o recoacere de maleabilizare, prin care cementita (Fe_3C) se descompune în fier şi grafit;

- *fontele speciale* provin din fontele cenuşii, albe sau maleabile şi prin aliere cu Ni, Cr, Mo, Mn, W, Ti, Zr, V etc. şi aplicarea unor tratamente termice corespunzătoare dobândesc proprietăţi mecanice şi fizico-chimice speciale (antifricţiune, de fricţiune, refractare, criogenice).

2.1.1.2. Oţelul este un aliaj fier-carbon care conţine 0,006…2,11%C, precum şi elemente însoţitoare (Mn ≤ 0,9%, Si ≤ 0,45%, P ≤ 0,04%, S ≤ 0,04%) şi uneori elemente de aliere. Elaborarea oţelului este un proces fizico-chimic complex care utilizează ca materie primă fie minereul de fier (reducere directă), fie fonta topită (reducere indirectă). Astăzi, peste 95% din producţia mondială de oţel se obţine prin reducere indirectă, realizându-se în convertizoare (60%), cuptoare cu vatră (20%) şi cuptoare electrice (20%).

Clasificarea oţelurilor se face după schema şi criteriile prezentate în fig.2.2.

a) – Oţelurile de uz general cuprind o serie de oţeluri obişnuite sau aliate, utilizate în construcţia de maşini, prin turnare sau deformare plastică.

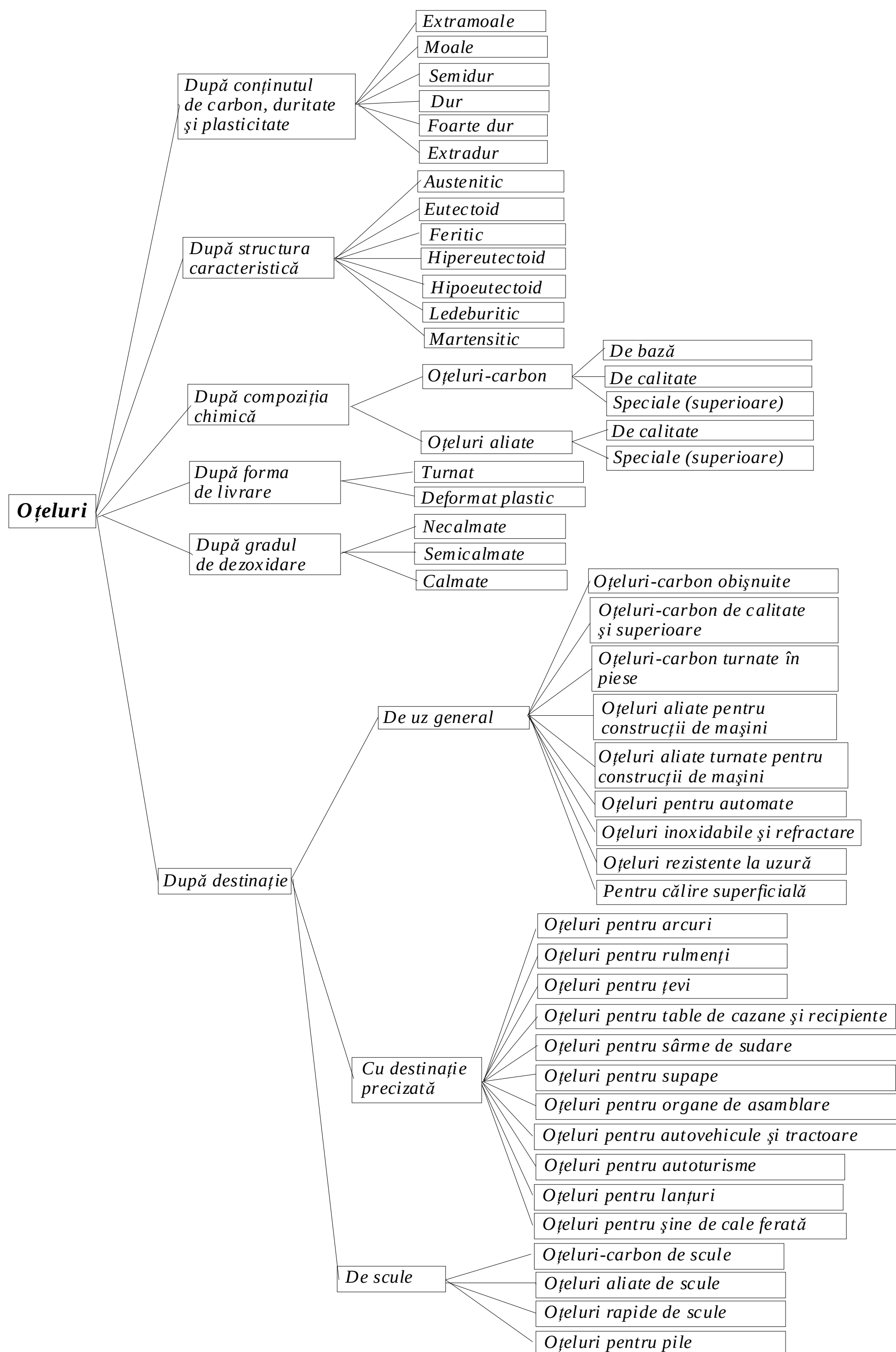


Fig. 2.2. Clasificarea oțelurilor.

b) – Oţelurile cu destinaţie precizată sunt utilizate în domenii limitate: arcuri, rulmenţi, ţevi, table pentru cazane şi recipiente, sârme de sudare, supape, organe de asamblare, autovehicule şi tractoare, lanţuri, şine de cale ferată.

c) – Oţelurile de scule sunt oţeluri-carbon sau aliate, destinate fabricării sculelor aşchietoare şi pentru deformare plastică la cald sau la rece, precum şi a aparatelor de măsură şi control (şublere, micrometre, calibre, rigle, cale, şabloane etc.).

2.1.2. Materiale neferoase

Metalele şi aliajele neferoase au o importanţă mare în tehnică, datorită unor proprietăţi care lipsesc fontelor şi oţelurilor: masă volumică redusă (Al, Mg, Ti), conductibilităţi termică şi electrică ridicate, maleabilitate, ductilitate, rezistenţe ridicate la oxidare şi coroziune, calităţi bune de antifricţiune etc. Ele se utilizează la elaborarea oţelurilor aliate (Cr, Ni, Mo, W, V, Co etc.), în construcţia de autovehicule, vapoare, avioane şi nave cosmice (Al, Mn, Ti, Zr, Mo, W), în tehnica nucleară (V, Th, Be), în medicină (Hg, Si, Pt, Ag, Au), în industriile chimică, alimentară, poligrafică şi de armament etc., reprezentând circa 10% din consumul mondial de metal.

Întrebuinţarea mai largă a lor este limitată de faptul că sunt deficitare şi, în general, au preţuri foarte ridicate. Din aceste motive se impune folosirea lor în mod cât mai raţional şi înlocuirea, acolo unde este posibil, cu aliaje feroase sau cu materiale plastice.

Clasificarea metalelor şi aliajelor neferoase se poate face după mai multe criterii, în fig. 2.3. fiind prezentată o astfel de clasificare.

2.1.2.1. Cuprul şi aliajele lui. Cuprul este un metal de culoare arămie (de unde numele de *aramă*), maleabil, ductil şi tenace, bun conducător de căldură şi electricitate, care se topeşte la 1.083 ^{0}C. Este rezistent la coroziunea atmosferică, a apei de mare şi a vaporilor supraîncălziţi şi se prelucrează prin deformare plastică, sudare, lipire şi aşchiere.

Cuprul se utilizează la fabricarea conductoarelor pentru transportul energiei electrice şi tracţiune electrică, la bobinarea maşinilor electrice, la fabricarea schimbătoarelor de căldură, precum şi în industriile chimică, alimentară şi de armament. Principalele sale aliaje sunt bronzul şi alama.

a) – Bronzul este un aliaj al cuprului cu staniu (*bronz obişnuit*) sau cu alte elemente (Al, Be, Cr, Mn, Pb, Si, Sn), caz în care se numesc *bronzuri speciale*. Se prelucrează prin turnare sau prin deformare plastică şi se utilizează la fabricarea lagărelor cu alunecare, a armăturilor care lucrează în apă de mare şi vapori supraîncălziţi, precum şi a sculelor utilizate în medii grizutoase.

b) – Alama este un aliaj cupru-zinc, putând conţine şi alte elemente (Al, Mn, Fe, Si, Ni, Pb, Sn). Are proprietăţi mecanice şi tehnologice bune şi este foarte rezistentă la coroziune, folosindu-se la fabricarea unor piese care lucrează în mediul marin, precum şi la obţinerea lagărelor turnate şi a unor bunuri de consum.

2.1.2.2. Aluminiul şi aliajele lui. Aluminiul este cel mai răspândit metal din natură şi al treilea element chimic, după oxigen şi siliciu. Este uşor, are o culoa-

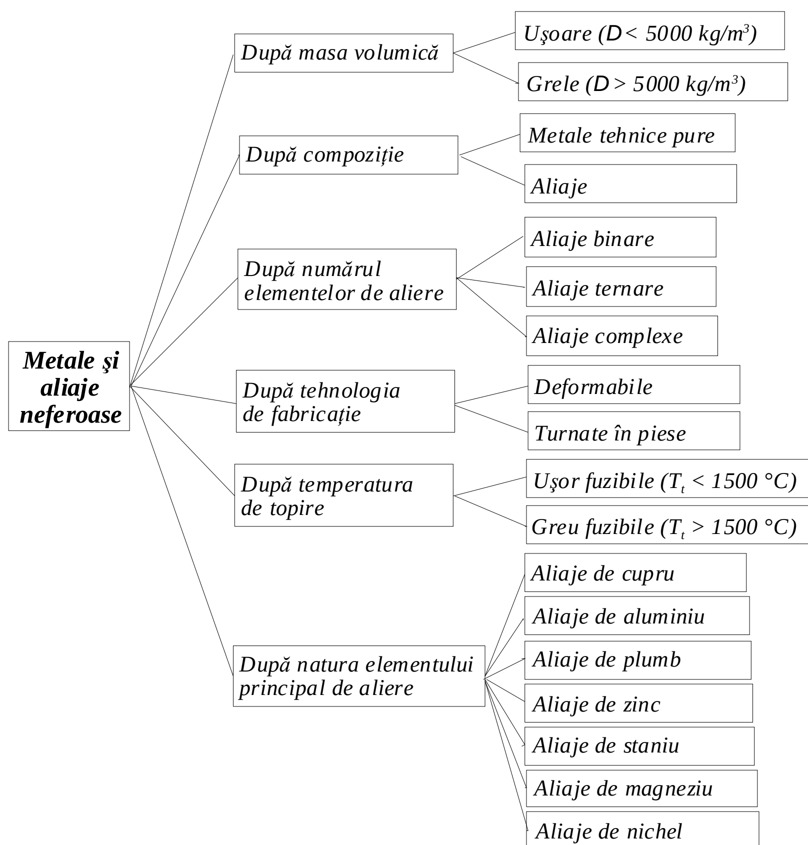


Fig. 2.3. Clasificarea metalelor şi aliajelor neferoase.

re albă-argintie, se topeşte la 658 ^{0}C, este maleabil şi ductil, bun conducător de căldură şi electricitate. Se combină uşor cu oxigenul, acoperindu-se cu o peliculă protectoare de Al_2O_3. Se prelucrează uşor prin turnare şi deformare plastică, se sudează şi se lipeşte, dar are o aşchiabilitate redusă.

Aluminiul se utilizează la fabricarea conductoarelor electrice, în industria aeronautică, la fabricarea foliilor subțiri pentru ambalarea şi conservarea alimentelor, precum şi a unor articole casnice. Se mai foloseşte la obținerea tâmplăriei metalice, ca dezoxidant şi la elaborarea unor aliaje.

a) – Aliajele de aluminiu turnate au fluiditate mare şi contracție mică, conținând Si, Mg, Cu şi Zn. Cel mai important este *siluminul*, folosit la turnarea blocurilor motoare şi chiulaselor.

b) – Aliajele de aluminiu deformabile conțin Cu, Mn, Si, Mg, Zn, Fe şi Li şi se prelucrează în semifabricate prin deformare plastică. Unele se durifică prin tratament termic, altele nu. Din prima categorie face parte *duraluminiul*, folosit la fabricarea pieselor rezistente şi uşoare (motoare, industria aeronautică).

c) – Aliajele antifricțiune de aluminiu au structura constituită dintr-o

matrice semidură (soluții solide de Al cu Cu, Si, Zn, Ni) şi incluziuni moi (Sn), fiind mai dure şi suportând sarcini mai mari decât cele pe bază de Pb şi Sn, pe care le înlocuiesc cu succes fiind şi mai ieftine.

2.1.2.3. Plumbul şi aliajele lui. Plumbul este un metal greu, de culoare cenuşie-albăstruie, se topeşte la 327 ^{0}C, este rău conducător de căldură şi electricitate şi rezistent la coroziune. Are proprietăți mecanice slabe şi se prelucrează prin turnare, laminare, extrudare şi presare, putându-se şi suda şi lipi.

El se utilizează, în principal, la fabricarea acumulatoarelor pentru automobile (75% din producția mondială), precum şi la protejarea cablurilor electrice şi telefonice subterane şi submarine, în construcții, în industria vopselelor (miniu de plumb), în industria de armament (alice şi gloanțe), ca protector contra radiațiilor şi la elaborarea unor aliaje (antifricțiune, de lipit şi uşor fuzibile).

a) – Aliajele antifricțiune conțin, pe lângă plumb, până la 18% Sb, până la 12% Sn, precum şi Cu, As şi Cd şi se utilizează la fabricarea cuzineților lagărelor cu alunecare.

b) – Aliajele pentru lipire moale sunt aliaje ale plumbului cu Sn, Sb, Bi şi Ag, folosite la lipirea unor piese care nu sunt supuse la solicitări mari (contacte electrice, instalații sanitare, aparatură medicală, articole casnice şi cutii de conserve).

c) – Aliajele uşor fuzibile se folosesc la aparatura automată de stins incendii şi la protecția cazanelor cu aburi şi a oalelor sub presiune, fiind aliaje ale plumbului cu Bi, Sn şi Cd, cu temperaturi mici de topire.

2.1.2.4. Zincul şi aliajele lui. Zincul este un metal relativ greu, de culoare albă-albăstruie, al cărui luciu dispare repede, prin acoperire cu un strat protector de ZnO. Se topeşte la 419 ^{0}C şi reacționează uşor cu o serie de acizi. Are proprietăți mecanice slabe şi, ca urmare, nu se poate utiliza în construcția de maşini, dar pentru că are o mare rezistență la coroziune, se foloseşte la acoperirea anticorosivă a tablelor, sârmelor şi țevilor din oțel (50% din producția mondială). Se mai utilizează în industria vopselelor (alb de zinc), în electrotehnică şi la elaborarea unor aliaje.

Alierea zincului urmăreşte în principal îmbunătățirea proprietăților sale mecanice. Ca elemente de aliere se utilizează Al, Cu, Mg, Cr şi Ti. După domeniul lor de utilizare, aceste aliaje pot fi pentru turnare în lingouri, pentru turnare sub presiune şi pentru turnare în piese. Unele din aceste aliaje sunt cunoscute sub denumirile comerciale de *zamak, zimal, zilloy* şi *zikson*.

2.1.2.5. Staniul şi aliajele lui. Staniul este un metal relativ greu, de culoare albă-argintie, cu temperatura de topire de 232 ^{0}C, maleabil şi ductil. Proprietățile sale mecanice sunt slabe, dar este foarte rezistent la coroziunea mediului ambiant, acoperindu-se cu o peliculă protectoare de oxid. Se prelucrează uşor prin laminare, extrudare, forjare şi sudare, satisfăcător prin aşchiere şi greoi prin trefilare şi ambutisare.

Nefiind atacat de acizii organici, se foloseşte la cositorirea cutiilor de conserve şi la fabricarea staniolului (50% din producția mondială), precum şi la elaborarea unor aliaje (pentru lipire moale şi antifricțiune).

a) – Aliajele pentru lipirea moale se topesc la 200…400 ^{0}C şi conțin, în afară de staniu, Pb, Sb, Bi, Cu, In şi Ag şi sunt destinate lipirii unor piese care nu sunt supuse unor solicitări mari.

b) – Aliajele pentru lipirea moale care intră în contact cu produse alimentare sunt aliaje ale staniului cu Sb, Cu şi Ag, având conținutul maxim de Pb de 0,25%, iar cel de Cd de 0,05%, ambele fiind metale toxice.

c) – Aliajele antifricțiune sunt mai scumpe decât cele pe bază de plumb, dar mai bune. Ele sunt aliaje ternare (Sn-Sb-Cu) sau complexe (Sn-Sb-Cu-Pb) şi se utilizează la confecționarea lagărelor cu alunecare care lucrează la presiuni mici şi turații mari.

2.1.2.6. Magneziul şi aliajele lui. Magneziul este un metal foarte uşor, de culoare albă-argintie, maleabil şi ductil care se topeşte la 651 ^{0}C. Proprietățile sale mecanice sunt slabe, dar din punct de vedere chimic este foarte activ, reducând cu uşurință oxizii, drept pentru care se foloseşte ca dezoxidant în metalurgie, ca reducător în chimia organică şi ca modificator al fontei cenuşii prin nodulizarea grafitului. Se mai utilizează în pirotehnie (focuri de artificii, gloanțe trasoare), la fabricarea redresoarelor de curent şi, mai ales, la elaborarea unor aliaje.

Magneziul se poate alia cu Al, Zn, Mn, Si, Cu şi Ag, obținându-se cele mai uşoare aliaje utilizate în tehnică. Acestea se utilizează în construcțiile de avioane, vagoane şi automobile, la fabricarea pistoanelor motoarelor cu turații mari, precum şi a corpurilor de pompe, a carcaselor şi rezervoarelor. După tehnologia de fabricație, aceste aliaje pot fi turnate sau deformabile.

2.2. Materiale plastice

2.2.1. Generalități

Materialele plastice sunt produse sintetice macromoleculare, utilizate în industrie datorită plasticității ridicate şi proprietăților favorabile pe care le au piesele prelucrate. Apărute în perioada 1920 – 1950, astăzi depăşesc consumul de metale datorită următoarelor avantaje: masă volumică redusă; sunt bune izolatoare electrice şi termice; sunt rezistente la acțiunea agenților chimici; se prelucrează uşor prin multiple procedee tehnologice; au un preț scăzut.

În acelaşi timp, utilizarea lor este limitată de următoarele dezavantaje: proprietățile mecanice sunt relativ reduse; nu sunt degradabile, ceea ce creează serioase probleme de poluare; nu îşi păstrează proprietățile la temperaturi înalte; au coeficienți de dilatare relativ mari; prin ardere degajă produse toxice.

Istoria materialelor plastice începe în 1869, în SUA, când frații Hyatt au inventat celuloidul, un produs de origine vegetală, pentru a înlocui fildeşul natural, utilizat până atunci la fabricarea bilelor de biliard. Astfel, timp de 40 de ani, celuloidul a fost singurul material plastic cunoscut, până în 1909, când chimistul belgian Baekeland a inventat, tot în SUA, bachelita. Era materialelor plastice începe, practic, odată cu secolul XX, luând un deosebit avânt în perioada 1920 – 1940.

În 1937, în America apare prima poliamidă – nailonul – care a înlocuit

fibrele textile naturale şi, în particular, mătasea. După război, policlorura de vinil dură, rezistentă la acţiunea chimică a acizilor şi bazelor, a contribuit la renaşterea industriei chimice, concurând cu succes oţelul inoxidabil în construcţia rezervoarelor pentru industria chimică sau a conductelor pentru transportul produselor corosive.

Începând cu 1950 asistăm la dezvoltarea în ritm alert a petrochimiei, ca urmare a creşterii cererii de combustibili în transporturile rutiere. Petrochimia asigură apariţia unor noi materiale plastice ca urmare a cracării petrolului brut. Circa 10% din ţiţei este utilizat în rafinării pentru obţinerea materialelor plastice.

Astăzi, consumul mondial de materiale plastice a ajuns să-l egaleze pe cel de oţel, în volum, şi tinde să-l depăşească. Având în vedere că peste 90% din producţia de materiale plastice provine din petrol şi gaze naturale, o problemă de maximă importanţă o constituie reciclarea acestora, pentru limitarea consumului de materii prime valoroase şi din ce în ce mai deficitare. Prin reciclare nu se urmăreşte doar prelucrarea deşeurilor în vederea refolosirii lor, ci şi transformarea lor, prin procedee speciale, în produsele petroliere de origine. Aceste tehnologii se bazează pe depolimerizare, realizându-se în final o spargere a lungilor catene de hidrocarburi ce alcătuiesc materialele plastice şi cauciucul industrial şi obţinându-se gaz metan şi ţiţei brut (reciclare chimică).

Materialele plastice se pot obţine din produse animale, vegetale sau naturale, conform schemei din fig.2.4.

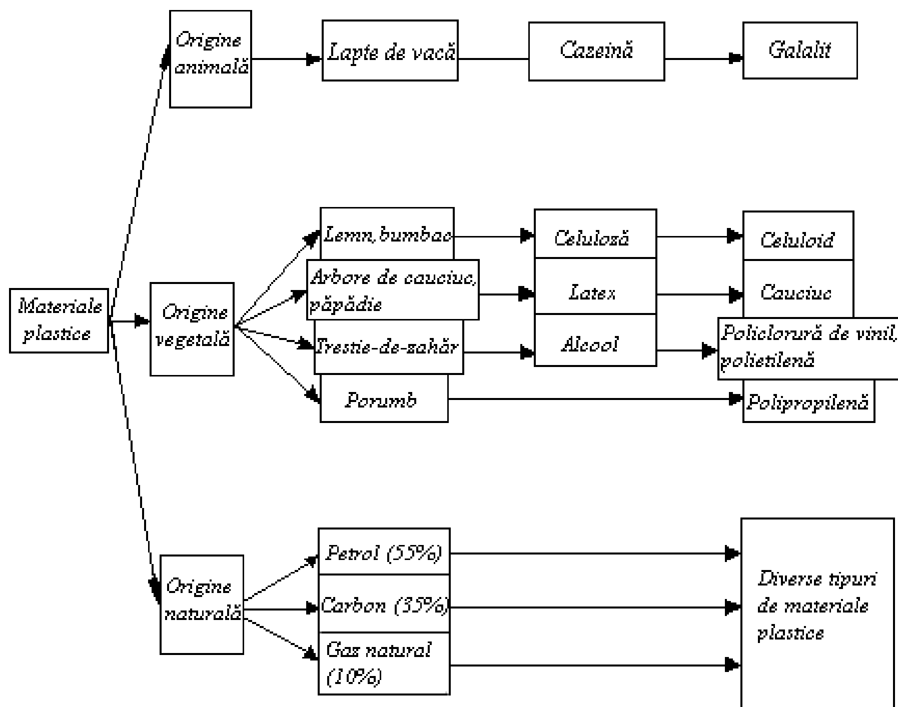


Fig.2.4. Clasificarea materialelor plastice după natura lor.

2.2.2. Structura şi constituenții materialelor plastice

Materialele plastice sunt de fapt amestecuri de substanțe macromoleculare numite *polimeri* cu materiale auxiliare care modifică în mod avantajos caracteristicile polimerilor. Moleculele polimerilor conțin $10^3…10^6$ atomi şi ei se formează prin unirea în lanț a două sau mai multor molecule de monomeri, monomerii fiind de aceeaşi natură sau diferiți. Polimerii au rol de liant şi determină proprietățile materialului plastic.

Ca materiale auxiliare se utilizează:

- *plastifianții* sunt substanțe lichide şi mai rar solide care au rolul de a mări plasticitatea, fluiditatea şi rezistența la şoc a materialului plastic. Ei trebuie să fie compatibili cu polimerul, să nu fie toxici şi volatili şi să aibă stabilitate la lumină şi căldură;
- *stabilizatorii* sunt substanțe care asigură menținerea proprietăților materialelor plastice la valorile inițiale atât în timpul prelucrării, cât şi în timpul exploatării lor, împiedicând acțiunea factorilor biologici (bacterii, ciuperci), fizici (influența luminii, oxigenului şi radiațiilor) şi chimici (polimerizare sau depolimerizare);
- *materialele de umplutură* sunt particule solide organice sau anorganice care nu se topesc la temperatura de prelucrare şi se adaugă pentru creşterea rigidității, durității şi rezistenței la uzură, precum şi pentru reducerea costului (rumeguş, deşeuri de fibre şi țesături de bumbac şi in, hârtie, talc, nisip);
- *lubrifianții* au rolul de a evita lipirea materialelor plastice de scule şi maşinile de prelucrat, precum şi de a asigura prelucrarea lor la temperaturi mai joase prin îmbunătățirea curgerii (grafit, ceară, parafină, săpun mineral);
- *coloranții* sunt pigmenți anorganici sau organici care asigură materialului plastic culoarea dorită. Ei trebuie să fie rezistenți la lumină, căldură şi intemperii;
- *antistaticele* sunt substanțe care împiedică electrizarea materialelor plastice sub formă de folii sau foi care se încarcă electrostatic la frecarea cu suprafețele metalice şi atrag praful;
- *agenții de ignifugare* au rolul de a mări rezistența la foc a materialului (compuşi ai stibiului, fosforului şi clorului);
- *agenții fungistatici* opresc dezvoltarea ciupercilor, în special în condițiile climatului tropical, cald şi umed. Ciupercile atacă îndeosebi materialele de umplutură şi plastifianții, înrăutățind caracteristicile mecanice şi aspectul exterior al materialului plastic.

2.2.3. Clasificarea materialelor plastice

Materialele plastice se pot clasifica după mai multe criterii, cel mai important fiind acela care are în vedere modificările suferite prin prelucrarea lor la cald (fig.2.5). Din acest punct de vedere, materialele plastice pot fi grupate în două categorii: materiale plastice termoreactive şi termoplaste.

Materialele termoreactive (*termorigide*) se caracterizează prin aceea că în timpul prelucrării, sub acțiunea căldurii şi presiunii, suferă transformări chimice

ireversibile, devenind nefuzibile şi insolubile în solvenţi. Ca urmare, aceste materiale nu se pot recicla.

Materialele termoplaste devin vâscoase prin încălzire şi după prelucrarea în piese se pot recicla, aceste operaţii putându-se repeta de mai multe ori fără ca materialul să sufere vreo transformare chimică.

După modul de obţinere, materialele plastice se produc prin reacţii de policondensare, polimerizare şi poliadiţie.

Policondensarea este o reacţie chimică în care are loc unirea alternantă a mai multor molecule mici de monomeri de naturi diferite, într-o macromoleculă, sub acţiunea căldurii, presiunii şi catalizatorilor, cu eliminarea concomitentă a unor substanţe secundare (apă, amoniac, HCl). Eliminarea apei conferă materialului porozitate şi higroscopicitate mai mari şi deci proprietăţi dielectrice mai reduse.

Polimerizarea este o reacţie chimică prin care substanţe cu masă moleculară mică de aceeaşi natură, având caracter nesaturat (monomeri), se transformă în substanţe cu masă moleculară mai mare (polimeri), păstrând aceeaşi compoziţie procentuală şi aceeaşi aranjare a atomilor în moleculă, fără eliminare de produse secundare.

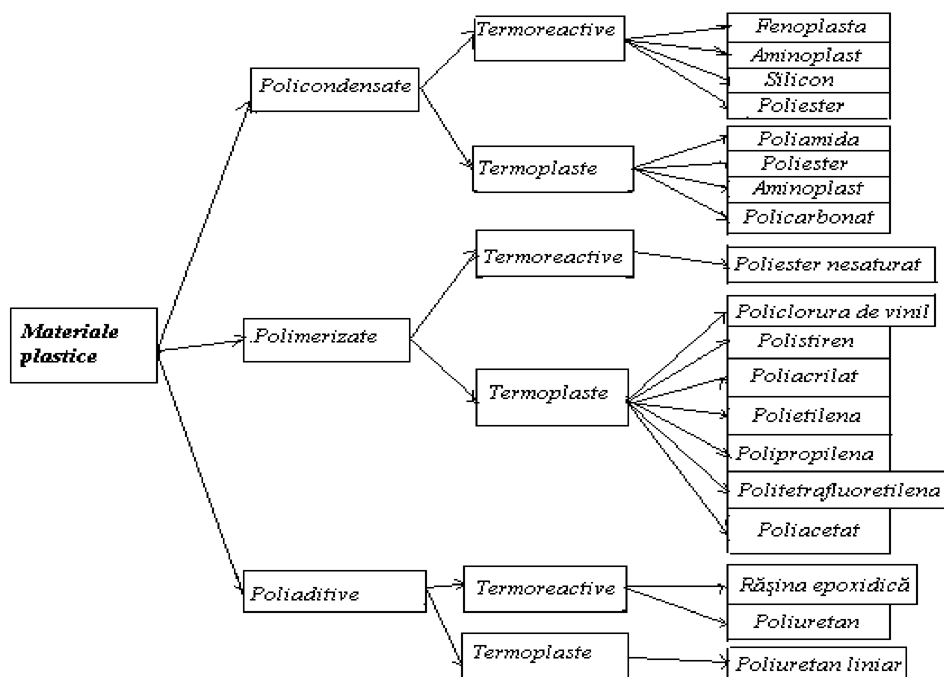


Fig.2.5. Clasificarea materialelor plastice după modul de obţinere.

Poliadiţia este o reacţie chimică prin care se introduc atomi sau molecule într-o altă moleculă cu caracter nesaturat şi de altă natură chimică, fără separare de produse secundare.

a) – Fenoplasta (***PF***) se obţine prin policondensarea fenolului cu

formaldehida, în prezența unor catalizatori acizi sau bazici. Prin condensare în mediu acid se obține *novolac*, folosit la fabricarea lacurilor, iar prin condensare în mediu bazic se obțin *rezol* (lac de impregnare), *rezitol* (masă de formare) şi *rezită* (piese electroizolante prelucrabile prin aşchiere). Aceste răşini se folosesc şi pentru impregnarea materialelor textile (*textolit*), hârtiei (*pertinax*) şi lemnului (*fanerit*).

b) – Aminoplastul (***UF***) se obține prin policondensarea formaldehidei cu uree, melamină sau anilină, rezultând *răşini carbamilice* (siguranțe pentru curenți de înaltă tensiune şi uleiuri pentru impregnarea materialelor plastice stratificate), *răşini melaminice* (lacuri şi emailuri electroizolante) şi *răşini anilinice* (proprietăți dielectrice foarte bune şi rezistență ridicată la acțiunea apei şi a substanțelor alcaline).

c) – Siliconul (***SI***) este un compus macromolecular cu structura analoagă corpurilor organice, alcătuit din lanțuri de atomi de siliciu care alternează regulat cu atomi de oxigen. Lanțurile astfel formate mai au valențe libere care pot fi completate cu hidrogen sau radicali organici, astfel că siliconii îmbină caracteristicile dielectrice ale materialelor organice cu stabilitatea chimică şi termică a materialelor anorganice.

În funcție de structura moleculară, siliconii se prezintă sub formă de *uleiuri* şi *unsori siliconice* (ungerea mecanismelor din mase plastice şi a matrițelor pentru injectarea acestora), *cauciuc siliconic* (izolarea cablurilor electrice, huse pentru telefoane mobile, uşi de avioane) şi *răşini siliconice* (lacuri pentru izolarea maşinilor electrice de puteri mari). Fiind compatibili cu țesutul uman, siliconii se utilizează pe scară largă în chirurgia plastică (implanturi mamare) şi la fabricarea unor articole erotice.

d) – Poliesterul (***PET***) se obține prin policondensarea unui acid organic cu un alcool (acid tereftalic cu alcool metilic), în prezența unui catalizator, punând în libertate apă. Produsul obținut este granular şi prin presare la cald se prelucrează în piese folosite în construcția de maşini, în folii şi fibre electroizolante sau în alte diverse produse (ambarcațiuni, căzi de baie, rezervoare, panouri protectoare).

e) – Poliamida (***PA***) se obține prin policondensarea acizilor organici (adipic, sebacic) cu diamine (derivate ale amoniacului). Cele mai cunoscute poliamide sunt *nailonul*, obținut prin policondensarea acidului adipic cu clorohexan şi *caprolactama*, obținută prin policondensarea acidului aminocapronic cu ciclohexan. Nailonul se foloseşte la confecționarea fibrelor sintetice din care se fac articole de îmbrăcăminte, rachete de tenis, perii şi plase de pescuit, iar caprolactama, la fabricarea țesăturilor şi tricotajelor.

Fibrele de poliamide se pot trata cu materiale lubrifiante (grafit, bisulfură de molibden), căpătând proprietăți de antifricțiune. Din astfel de fibre se pot confecționa lagăre, roți de transmisie şi inele de uzură a căror temperatură de lucru nu depăşeşte 80 ^{0}C.

f) – Policarbonatul (***PC***) se obține prin policondensarea dianului într-o soluție de hidrat de sodiu şi clorură de metilen, peste care se insuflă gaz fosgen la 20 ^{0}C. Se utilizează la fabricarea țevilor care le înlocuiesc pe cele din cupru sau alamă, precum şi a unor componente din domeniul electric (cutii de siguranță,

capace de duze, tuburi pentru conductoare, abajururi), a scuturilor, căştilor de protecţie şi indicatoarelor reflectorizante.

g) – Policlorura de vinil (***PVC***) se obţine prin polimerizarea clorurii de vinil şi se prezintă sub formă *dură* (fără plastifianţi) şi *moale* (cu plastifianţi). Cea dură are rezistenţă mecanică şi rigiditate foarte bune şi se utilizează la fabricarea rezervoarelor şi buteliilor pentru industriile chimică şi fotografică, la placări rezistente la acizi şi la realizarea panourilor acustice. Policlorura de vinil moale are un grad mare de flexibilitate şi se utilizează la fabricarea păpuşilor şi animalelor gonflabile, a încălţămintelor şi impermeabilelor de ploaie, precum şi a covoarelor pentru pardoseli.

h) – Polistirenul (***PS***) se obţine prin polimerizarea stirenului şi se foloseşte la confecţionarea carcaselor unor aparate casnice (roboţi de bucătărie, storcătoare de fructe, râşniţe de cafea, aparate de radio, televizoare, aspiratoare, frigidere). Prin introducerea unor substanţe spumogene se obţin *polistirenul expandat* şi *polistirenul extrudat* (ultimul fiind mai dens) care se utilizează la izolarea termică a clădirilor, sub formă de plăci de diverse grosimi.

i) – Poliacrilatul (***PMMA***) se obţine prin polimerizarea metacrilatului de metil, produsul realizat fiind cunoscut sub denumirea de *plexiglas*. Acesta este asemănător cu sticla, dar nu se sparge, utilizându-se în diverse domenii: acoperişuri transparente, machete pentru instrucţia şcolară, lentile, lupe, ochelari de protecţie, geamuri incasabile, vitrine şi vizoare.

j) – Polietilena (***PE***) se obţine prin polimerizarea etilenei. Dacă polimerizarea se face la presiuni mari (1000…2000 bar) se obţine *polietilenă de joasă densitate*, iar dacă se face la presiuni obişnuite (1 bar), se obţine *polietilenă de înaltă densitate*. Prima este mai puţin rigidă şi se foloseşte la fabricarea pungilor şi sacilor menajeri, precum şi a conductelor flexibile şi jucăriilor, iar a doua este mai dură şi se utilizează la fabricarea canistrelor şi rezervoarelor de apă şi ulei, a fitingurilor şi conductelor de gaz metan, precum şi la placarea schiurilor.

k) – Polipropilena (***PP***) este asemănătoare cu polietilena şi se obţine prin polimerizarea propilenei. Se foloseşte la fabricarea conductelor şi fitingurilor de gaz metan, a cutiilor, rezervoarelor şi cofrajelor, a carcaselor pentru maşini de spălat, frigidere, ventilatoare şi uscătoare de păr, a mobilierului de grădină şi la acoperiri de protecţie.

l) – Politetrafluoretilena (***PTFE***) se obţine prin polimerizarea tetrafluoretilenei, rezistă până la 260 ^{0}C şi este cunoscută sub denumirea comercială de *teflon*. Are numeroase utilizări: aparatură industrială şi de laborator, segmenţi de piston, cuzineţi pentru lagăre, vase de bucătărie, izolatoare electrice şi ţesături rezistente la foc şi acizi.

m) – Poliacetatul (***POM***) se obţine prin polimerizarea formaldehidei şi se foloseşte la confecţionarea unor piese cu precizie dimensională ridicată: bucşe pentru lagăre, discuri, garnituri pentru închideri rapide, roţi dinţate, balamale, taste pentru calculatoare, televizoare şi aparate de radio.

n) – Răşina epoxidică (***EP***) se obţine prin reacţia de poliadiţie dintre bisfenolul de tip *A* şi epiclorhidrină, urmată de o durificare cu un agent de întărire,

putând fi lichidă (cu masă moleculară mică) sau solidă (cu masă moleculară mare). Se foloseşte în electrotehnică, în industria lacurilor şi vopselelor, precum şi la obținerea unor laminate pentru componente de rezistență şi rigiditate în construcțiile aerospațiale (aripi, pale de rotor pentru elicoptere). Se mai utilizează las confecționarea modelelor de turnătorie şi a matrițelor de presare şi injecție, precum şi la fabricarea unor adezivi extrem de puternici.

o) – Poliuretanul (***PU***) se obține prin reacția de poliadiție dintre un cianat şi un alcool şi se foloseşte la fabricarea cabinelor de camioane, carcaselor de calculatoare şi aparate de filmat, iar răşinile poliuretanice, la obținerea lacurilor şi uleiurilor pentru placaje.

În tabelul 2.2. sunt prezentate principalele tipuri de materiale plastice, cu proprietățile lor fizice, mecanice şi tehnologice.

2.3. Materiale ceramice

2.3.1. Structura şi proprietățile materialelor ceramice

Materialele ceramice constituie a treia grupă de materiale utilizate în tehnică, după cele metalice şi plastice. Ele sunt materiale anorganice cu legături atomice şi ionice, a căror structură complexă cristalină se obține prin sinterizare.

Cuvântul *ceramică* vine din limba greacă (*keramicos* = argilă arsă), iar activitatea omului legată de olărit şi producerea cărămizilor îşi are originea în preistorie. De-a lungul timpului, se disting trei etape ale dezvoltării ceramicii:

- *ceramica utilitară* este legată de olărit şi a apărut înainte de folosirea metalelor, vasele şi cărămizile fiind primele produse obținute de om prin arderea argilei;
- *ceramica de artă* a derivat din precedenta, îndepărtându-se de funcția utilitară şi centrându-se pe valoarea decorativă şi estetică;
- *ceramică industrială* s-a dezvoltat după anul 1950, ca urmare a apariției industriilor de vârf, care utilizează materiale pe bază de oxizi, carburi, nitruri, borúri şi diverse forme de carbon.

Se consideră ca fiind materiale ceramice şi sticla, betonul şi grafitul, deoarece folosesc procedee specifice ceramicii, precum şi materialele refractare care se obțin la temperaturi înalte şi se utilizează la căptuşirea furnalelor şi cuptoarelor metalurgice.

În componența materialelor ceramice intră:

- *materialele plastice* (argilă, caolin, bentonită, lut, loess) constituie partea principală din care se fabrică produsele ceramice tradiționale şi au rol de liant, legând alte componente neplastice;
- *degresanții* (nisip, şamotă) reduc contracția la uscare şi la ardere şi contribuie la creşterea porozității produselor;
- *fondanții* (feldspat, calcar, marmură, cretă) contribuie la coborârea temperaturii de vitrifiere a materiilor prime solide, atunci când ceramica se obține prin topire;

Tabelul 2.2. **Caracteristicile principalelor**

Tipul	Cod ISO 1043	Caracteristici fizice						
		Densitatea [g/cm³]	Stabilitatea termică [⁰C]	Conductibilitatea termică [J/m·K]	Coeficientul de dilatare liniară [10⁻⁵/K]	Contracția la prelucrare [%]	Rezistivitatea electrică [Ω·cm]	Higroscopicitatea [%]
Fenoplastă	PF	1,4-1,9	150	0,3-0,7	1-5	0,2-0,8	10^{11}-10^{12}	0,1-0,2
Aminoplast	UF	1,5-2,0	140-160	0,35-0,7	2-6	0,2-1,2	10^{12}-10^{13}	0,01-0,7
Silicon	SI	1,2- 1,25	200	0,21-0,28	25-30		10^{10}-10^{15}	0,1-0,2
Poliester	PET	1,31-1,37	130-175	0,24-0,29	7	1,3-2,0	10^{14}-10^{16}	0,02-0,1
Poliamidă	PA	1,12-1,14	105	0,27-0,30	7-11	0,8-2,0	10^{12}-10^{15}	0,3-10
Policarbonat	PC	1,2-1,23	125	0,21-0,23	6-7	0,7-0,8	10^{16}	0,15
Policlorură de vinil (dură)	PVC	1,32-1,45	60-70	0,14-0,17	7-8	0,5-1,0	10^{11}-10^{18}	0,1-0,6
Polistiren	PS	1,05	70-85	0,15-0,17	7-8	0,4-0,7	10^{14}-10^{17}	0,02-0,1
Poliacrilat	PMMA	1,17-1,2	70	0,18-0,19	7-9	0,3-0,8	10^{15}	0,3-0,4
Polietilenă	PE	0,94-0,96	70-120	0,51	13-20	2,0-5,0	10^{17}-10^{19}	0,015
Polipropilenă	PP	0,90	110	0,20-0,22	10-18	1,0-2,5	10^{17}	0,01-0,03
Politetra-fluoretilenă	PTFE	2,1-2,2	250	0,25	8-10	3,0-4,0	10^{16}-10^{18}	0,005
Poliacetat	POM	1,4-1,45	120	0,29-0,36	11-13	1,6-2,8	10^{15}	0,25
Răşină epoxidică	EP	1,5-1,9	130-150	0,40-0,80	2-6	0,0-0,5	10^{16}-10^{17}	0,1-0,35
Poliuretan	PU	1,20	127-135	0,26-0,28	5-6	0,7-0,8	10^{11}-10^{15}	0,35-0,40

materiale plastice

Caracteristici mecanice							Caracteristici tehnologice						
Rezis-tența la tracțiune $[N/mm^2]$	Modulul de elasticitate $[N/mm^2]$	Alun-girea la rupere [%]	Rezi-liența la șoc $[kJ/m^2]$	Rezis-tența la încovo-iere $[N/mm^2]$	Fluajul $[N/mm^2]$	Duritatea Shore $[^0Shore]$	Presare	Injectare	Extrudare	Calandrare	Expandare	Sudare	Lipire
15-40	6000-10.000	1	1-15	50-60		90-110	X	X		X	X		X
15-30	5000-9000	1	4-20	55-80		116-120	X	X		X			X
5,5-7,0	6200	100				40-45	X	X		X	X		X
50-75	2500-3200	3-4	3-4	110	26	85	X	X	X				X
60-90	1500-3200	6-12	3-20	11-12	6	104	X	X	X			X	X
55-70	2000-2500	5-7	20-36	70	18	70	X	X	X			X	X
50-80	2900-3600	3-7	4-8	70-100	20-25	52-98	X	X	X	X		X	
45-65	3000-3600	2-4	2-3	60-90	18-20	75	X	X	X		X	X	X
60-90	2400-4500	2-10	2-3	80-100	15-20	80-100		X	X	X		X	X
20-35	400-1500	12-20	3-20	13-30	2-5	55	X	X	X		X	X	X
18-38	650-1400	10-20	4-14	45	5-6	95	X	X	X	X	X	X	X
9-12	450-750	250-500	13-16	15	1-2	50-65	X	X	X				X
60-80	2500-3500	8-15	4-10	98	12-18	94	X	X	X			X	X
60-200	5000-20000	2-5	5-20	120	100-150	110-120	X	X		X	X		
40	2100-2500	5-6	2-4	60	18	40-45	X	X	X	X	X	X	X

- *materialele refractare* (alumină, magnezit, dolomită, cromit, carburi, nitruri, boruri) rezistă la temperaturi ridicate, fără a se topi şi fără a se înmuia;

- *lubrifianții* (motorină, petrol, uleiuri vegetale, parafină, lignină) se adaugă în cantități reduse produselor ce urmează a se fasona prin presare, facilitând prelucrarea şi extragerea semifabricatelor din matrițe;

- *materialele porifere* (rumeguş, praf de cărbune, mangal, turbă) se descompun în timpul arderii şi contribuie, prin golurile formate, la creşterea porozității produselor.

În tabelul 2.3. sunt prezentate proprietățile fizice şi mecanice ale principalelor materii prime ceramice.

2.3.2. Tipuri de materiale ceramice

Până prin anii 1950, materialele ceramice erau reprezentate de ceramica utilitară şi de cea de artă, principalele produse fiind cărămizile, țiglele, faianța, porțelanul, precum şi cimentul, betonul şi sticla. Începând cu anii 1950, apar noi materiale ceramice, numite *industriale*, cu aplicații diverse în noile domenii. Astfel, în 1953, miezurile de ferită se utilizează în construcția calculatoarelor, iar din 1965, bioceramicele se folosesc ca implanturi osoase. În anii 1980 se descoperă ceramicele pe bază de nitrură de siliciu, precum şi cele pentru fabricarea semiconductoarelor şi supraconductoarelor, iar la sfârşitul anilor 1980, ceramicele compozite.

Clasificarea materialelor ceramice se face conform schemei din fig.2.6.

2.3.2.1. Ceramica utilitară este reprezentată de unele materiale de construcție (*cărămidă* şi *țiglă*), de *teracotă*, precum şi de materialele pentru finisaje (*faianță* şi *gresie*).

2.3.2.2. Ceramica de artă a apărut acum două milenii în China, Egipt şi Mesopotamia şi cuprinde *porțelanul* şi *mozaicul.*

2.3.2.3. Ceramica industrială a apărut în secolul trecut ca urmare a dezvoltării unor tehnologii de vârf care au reclamat materiale cu proprietăți şi performanțe speciale (calculatoare, construcții aerospațiale, industria nucleară, bioingineria, industria de armament). Dintre *avantajele* acestor materiale se menționează: duritate şi rezistență mare la uzură; rezistență ridicată la coroziunea atmosferică şi a gazelor fierbinți; păstrarea proprietăților de rezistență la temperaturi ridicate; rezistență bună la compresiune; masă volumică mică; sursele de materii prime din care provin sunt practic nelimitate.

În acelaşi timp, folosirea lor este limitată de următoarele *dezavantaje*: fragilitate ridicată, îndeosebi la rece; variații relativ mari ale materialului; rezistență scăzută la tracțiune; cheltuieli suplimentare la producerea pulberilor şi operațiilor de reprocesare.

a) – Ceramica pentru sculele aşchietoare se utilizează atât la fabricarea unor scule abrazive (corpuri, pânze, hârtii, lichide şi paste abrazive), cât şi a plăcuțelor dure cu care se armează unele scule aşchietoare (cuțite, freze, burghie). Aceste materiale trebuie să fie dure şi să aibă stabilitate termică, adică să nu-şi piardă proprietățile de aşchiere după încălziri şi răciri repetate.

Tabelul 2.3. **Proprietățile fizice şi mecanice ale unor materiale ceramice**

Natura ceramicii	Denumirea / Puritatea [%]	Formula chimică	Proprietăți fizice								Proprietăți mecanice				
			Culoarea	Densitatea [g/cm^3]	Temperatura de topire [°C]	Temperatura maximă de utilizare [°C]	Coeficientul de dilatare liniară [10^{-6}/K]	Conductibilitate termică la 20°C [W/m.K]	Capacitate termică masică la 100°C [J/kg.K]	Structura cristalină	Duritatea [GPa]	Modulul lui Young [GPa]	Tenacitate [MPa·m$^{1/2}$]	Rezistența la tracțiune [MPa]	Rezistența la compresiune [MPa]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Oxizi	Alumină / 92%	Al_2O_3	Albă	3,6	2000	1400	7,5	17	950	Hexagonală	14	270	3,7	120	1500
	Alumină / 96%	Al_2O_3	Albă	3,7	2000	1450	7,4	18	950	Hexagonală	17	250	3,9	160	1500
	Alumină / 99,7%	Al_2O_3	Albă	3,9	2050	1600	7,6	25	950	Hexagonală	18	310	4,1	180	1800
	Alumină / 99,8%	Al_2O_3	Albă	3,96	2050	1600	7,5	25	950	Hexagonală	20	320	4,2	190	1800
	Oxid de zirconiu/ 95%	ZrO_2	Gri închis	6,04	2760	900	9,5	3,0	720	Cubică	12	205	11	700	4000
	Oxid de zirconiu/ 96%	ZrO_2	Galbenă	5,6	2760	900	9,0	1,9	680	Cubică	11	200	8,5	360	3500
	Oxid de zirconiu/ 97%	ZrO_2	Crem	6,0	2700	800	9,5	2,9	720	Cubică	12	205	9,0	540	6000
Carburi	Carbură de siliciu/ 98,5%	SiC	Neagră	3,15	2700	1450	4,4	110	900	Hexagonală	24	420	3,5	250	2100
	Carbură de siliciu/ 99%	SiC	Neagră	3,21	2700	1450	4,5	145	900	Hexagonală	30	450	4,4	450	1700
	Carbură de siliciu/ 99,9%	SiC	Neagră	3,05	2700	1400	4,8	200	800	Hexagonală	16	390	3,0	180	2500
Nitruri	Nitrură de siliciu/ 85%	Si_3N_4	Gri	3,15	1875	1200	3,1	20	720	Hexagonală	18	280	5,4	430	1900
	Nitrură de siliciu/ 95%	Si_3N_4	Gri	3,15	1875	1200	3,1	19	830	Hexagonală	16	290	5,2	270	1500
	Nitrură de siliciu/ 97%	Si_3N_4	Gri	3,18	1875	1200	3,0	25	830	Hexagonală	16	320	5,6	450	2500
	Nitrură de siliciu/ 99%	Si_3N_4	Gri	2,5	1875	1200	2,8	18	700	Hexagonală	5,2	160	2,5	120	600

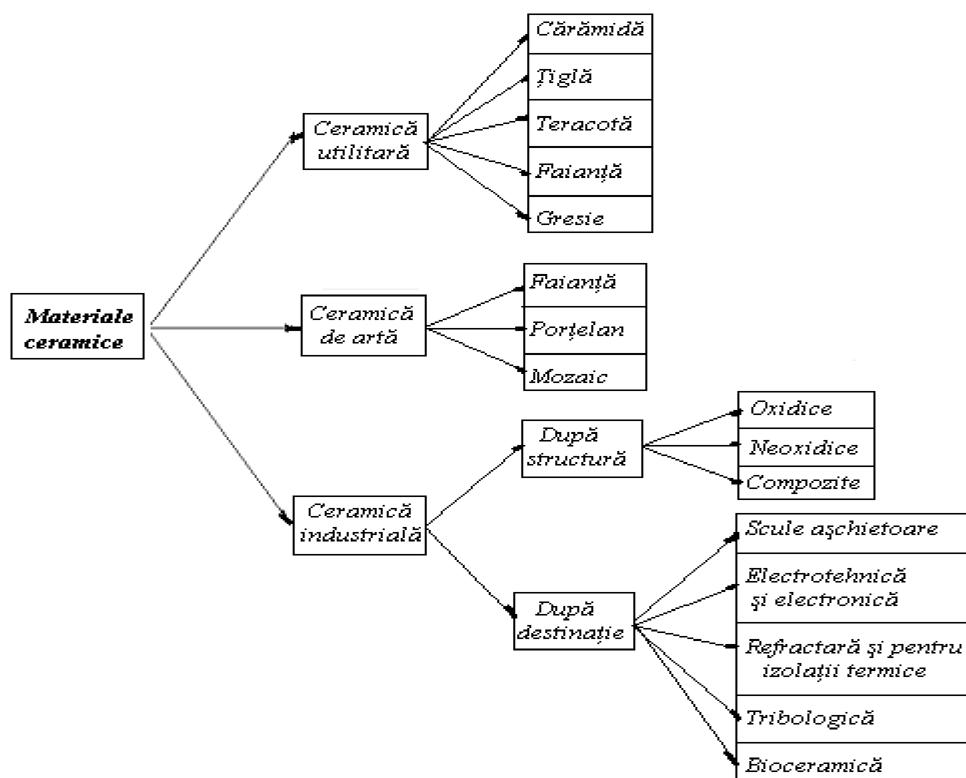


Fig.2.6. Clasificarea materialelor ceramice.

Plăcuţele dure cu care se armează unele scule aşchietoare se obţin prin sinterizare din *carburi metalice, materiale mineralo-ceramice, nitrură cubică de bor* sau *diamant.*

b) – Ceramica pentru electrotehnică şi electronică este, în general, rea conducătoare de electricitate. În cazul existenţei unor impurităţi, anumiţi ioni se pot deplasa sub influenţa câmpurilor electrice, astfel că aceste materiale devin semiconductoare. Alte materiale ceramice au proprietăţi piezoelectrice, feromagnetice sau chiar supraconductoare. Ca urmare, din această categorie fac parte:

- *izolatoarele ceramice* nu conţin electroni liberi care să permită circulaţia curentului electric şi se utilizează în construcţia bujiilor motoarelor cu aprindere prin scânteie şi, mai ales, la liniile pentru transportul energiei, de la joasă până la înaltă tensiune. Se mai folosesc la construcţia antenelor de emisie radio care sunt alimentate cu tensiuni înalte şi trebuie izolate faţă de pământ. Acestea se confecţionează din steatit, o varietate de talc de culoare albă, cu rezistenţă la rupere mare şi pierderi dielectrice foarte scăzute (Mg_2SiO_4);

- *condensatoarele ceramice* sunt construite din straturi alternative de metal şi ceramică, ultima constituind materialul dielectric. Acesta trebuie să aibă permitivitate electrică mare pentru a putea înmagazina cât mai multă energie într-

un volum mic, un factor de disipare foarte mic şi o rigiditate electrică ridicată. În acest sens se folosesc *perovskitele*: titanat de bariu ($BaTiO_3$), titanat de calciu ($CaTiO_3$), titanat de stronțiu ($SrTiO_3$), titanat dublu de plumb şi stronțiu [$(PbSr)TiO_3$] şi titanat zirconat de plumb [$Pb(Zr_{0,5}Ti_{0,5})O_3$];

- *ceramica piezoelectrică* se caracterizează prin proprietatea de generare a unui impuls electric sub acțiunea unei deformări mecanice (efect piezoelectric direct) sau de a se deforma sub acțiunea unui câmp electric exterior (efect piezoelectric invers). Ca materiale ceramice piezoelectrice se utilizează: berlinita ($AlPO_4$), titanatul de bariu ($BaTiO_3$), titanatul de plumb ($PbTiO_3$), titanatul zirconat de plumb [$Pb(Zr_{0,5}Ti_{0,5})O_3$], niobatul de potasiu ($KNbO_3$), niobatul de litiu ($LiNbO_3$), topazul şi, bineînțeles, cuarțul;

- *ceramica feromagnetică* este reprezentată de *ferite* care sunt compuşi ai unor metale bivalente cu oxizi de fier, având proprietăți magnetice superioare şi o conductibilitate electrică redusă. Feritele sunt, ca majoritatea materialelor ceramice, dure şi fragile. Ele au o masă volumică de circa trei ori mai mică decât a magneților metalici tradiționali, ceea ce constituie un avantaj major la fabricarea echipamentelor portabile sau aerospațiale. Ținând cont de proprietățile magnetice, feritele pot fi moi sau dure. *Feritele moi* au pierderi foarte mici prin histerezis magnetic şi prin curenți Foucault. Ca urmare, se utilizează în construcția antenelor de recepție, a transformatoarelor de impuls sau de putere, la fabricarea capetelor de înregistrare magnetică şi a memoriilor calculatoarelor, precum şi a radarelor. *Feritele dure* au o permeabilitate magnetică ridicată şi se utilizează la fabricarea magneților permanenți şi la construcția minimoatoarelor electrice, a aparatelor de radio şi a incintelor acustice. Ele se obțin din carbonați de bariu şi de stronțiu ($BaCO_3$, $SrCO_3$). Din categoria ceramicii feromagnetice, pe lângă ferite, mai fac parte unele lantanide (pământuri rare), din care se confecționează magneți. Câmpul magnetic al acestora depăşeşte 1200 militesla față de 50…100 militesla, în cazul magneților confecționați din ferită. În acelaşi timp, magneții fabricați din pământuri rare sunt foarte fragili, astfel că trebuie să fie protejați cu un strat de nichel. Pentru confecționarea magneților se utilizează aliaje de neodim (Nd) şi samariu (Sm): $Nd_2Fe_{14}B$ şi $SmCo_5$;

- *ceramica semiconductoare* prezintă o conductibilitate electrică intermediară între metale şi izolatoare şi se utilizează la fabricarea termistorilor şi varistoarelor. *Termistorul* este un dispozitiv semiconductor a cărui rezistență variază proporțional cu temperatura. Există termistoare pentru temperaturi pozitive, a căror rezistență creşte cu temperatura şi termistoare pentru temperaturi negative, a căror rezistență scade cu temperatura. Ele acoperă o gamă largă de temperaturi (–273,14…+1700 ^{o}C). Termistorii ceramici sunt indicați în cazul temperaturilor ridicate, de peste 1000 ^{o}C, ei fiind de fapt singura soluție pentru astfel de situații şi se confecționează din nitrură de bor (BN), nitrură de galiu (GaN), arseniură de galiu (GaAs), fosfoarseniură de galiu (GaAsP) sau fosfură de indiu (InP). *Varistorul* este un dispozitiv semiconductor a cărui rezistență electrică scade rapid cu creşterea curentului electric, această proprietate fiind aplicată la protecția stațiilor electrice contra descărcărilor atmosferice (fulgere şi trăsnete). Varistoarele

s-au construit inițial din carbură de siliciu (SiC), pentru ca astăzi să fie fabricate din oxid de zinc (ZnO), în amestec cu cantități mai mici de oxizi ai altor metale (Bi, Co, Mn). Grăunții de oxizi sunt fixați între două plăci metalice şi doi grăunți vecini formează o diodă care permite circulația curentului într-un singur sens;

- *ceramica supraconductoare* se caracterizează prin proprietatea de a-şi pierde rezistența electrică la o anumită temperatură critică şi de a conduce curentul electric fără nici o pierdere. Ea a fost descoperită în 1986 de doi cercetători elvețieni care au realizat un material ceramic cu formula chimică $La_{2-x}Sr_xCuO_4$, ce devenea supraconductor la –233 ^{0}C. Recordul mondial al temperaturii critice este de –135 ^{0}C, fiind dat de un material ceramic cu formula chimică $Hg_{08}Tl_{0,2}Ba_2Ca_2Cu_3O_{8,33}$. Supraconductibilitatea are numeroase aplicații practice: rezonanța magnetică nucleară (RMN) pentru investigarea corpului uman; obținerea magneților supraconductori; generatoare de curent electric de mare putere care livrează în rețea curent electric la tensiuni înalte, înlăturând transformatoarele; aplicații în domeniul fuziunii termonucleare controlate; stocarea pe timp îndelungat a energiei electrice în bobine supraconductoare; trenurile cu suspensie magnetică; aplicații în magnetohidrodinamică şi în industria de armament (americanii şi ruşii testează bomba electromagnetică, o armă mai sofisticată decât toate armele realizate până acum);

- *ceramica pentru substraturi de circuite integrate* se foloseşte pentru fabricarea unor plăci subțiri pe care se montează microcircuitele electronice. Aceste plăci se confecționează îndeosebi dintr-un amestec de 90% alumină (Al_2O_3) şi 10% răşini sintetice, cu rol de liant precum şi din oxid de beriliu (BeO) sau nitrură de aluminiu (AlN), prin presare în forme. După proiectarea şi imprimarea desenelor circuitelor, urmează arderea formei şi depunerea elementelor de circuit cu grosimi de ordinul micronilor, prin evaporare şi condensare în vid sau pulverizare catodică sau cu plasmă. Pachetele de circuite integrate se obțin prin suprapunerea mai multor foi, cu legături între ele, iar suprafețele exterioare ale pachetelor se placheazǎ cu nichel. Pachetele pot conține şi diode sau tranzistoare, în acest caz având dimensiuni mai mari, dar şi performanțe electrice superioare (circuite integrate hibride).

c) – Ceramica refractară şi pentru izolații termice se foloseşte la căptuşirea agregatelor care funcționează la temperaturi mari sau ca scut termic pentru vehiculele spațiale.

- *ceramica refractară* se utilizează la căptuşirea furnalelor, cuptoarelor, focarelor şi aparatelor care funcționează la temperaturi de peste 1000 ^{o}C. Spre deosebire de celelalte materiale de construcție, ceramica refractară trebuie să îndeplinească anumite condiții speciale: să nu se topească sub acțiunea temperaturilor înalte; să nu-şi piardă rezistența mecanică la aceste temperaturi; să aibă un volum constant la temperaturile de exploatare; să aibă stabilitate termică, adică să nu îşi modifice proprietățile în urma încălzirilor şi răcirilor repetate; să reziste la acțiunea corosivă a materialelor topite cu care vine în contact. Ca materiale ceramice refractare se utilizează silice, argilă, alumină, magnezie, oxizi de crom şi de carbon;

- *ceramica pentru izolații termice* se foloseşte ca scut termic pentru vehiculele spațiale (navete spațiale şi capsule de aterizare). La intrarea în atmosfera terestră, aceste vehicule ating temperaturi foarte mari, datorită frecării cu aerul şi dacă nu ar fi protejate termic, s-ar topi. Plăcuțele ceramice care le protejează trebuie să fie compatibile din punct de vedere chimic cu materialul-suport, să fie inerte la acțiunea gazelor din atmosferă, să aibă un coeficient de dilatare apropiat de cel al materialului-suport, să aibă o conductibilitate termică foarte scăzută şi, evident, să aibă o refractaritate foarte mare. Aceste plăcuțe au, de fapt, o structură compozită, fiind confecționate din fibre de silice sau din fibre de carbon. Ceramica pentru izolații termice se mai utilizează la confecționarea unor piese ale turbinelor cu gaze şi turbomotoarelor de aviație care sunt supuse la solicitări termice şi mecanice foarte mari. Astfel, camerele de ardere ale turbinelor care au temperaturi de peste 1500 ^{o}C se confecționează din carbură de siliciu (SiC), iar rotoarele turbinelor, din nitrură de siliciu (Si_3N_4).

d) – Ceramica tribologică are un coeficient de frecare mic, rezistență la acțiunea agenților chimici, refractaritate ridicată şi se utilizează la fabricarea lagărelor cu alunecare care lucrează la temperaturi ridicate, în vid sau în medii expuse la radiații (reactoare nucleare şi navete spațiale). O aplicație mai largă se întâlneşte la fabricarea rulmenților. Utilizarea ceramicii triplează durata de exploatare a unui rulment atât datorită micşorării frecării, cât şi reducerii forțelor centrifuge care la turații mari pot depăşi încărcarea nominală a rulmentului, materialele ceramice având o densitate mai mică decât oțelul. De asemenea, rolele sau bilele ceramice se deformează mai puțin sub sarcină, ceea ce asigură o mai bună rostogolire a lor pe căile de rulare şi o creştere a turației nominale. Căldura produsă în cazul rulmenților metalici poate duce la supraîncălzirea sau chiar griparea acestora, pe când în cazul rulmenților cu corpuri de rostogolire ceramici, acest pericol este înlăturat. De asemenea, ceramica este foarte rezistentă la acțiunea agenților chimici şi se poate utiliza şi în medii umede, unde rulmenții de oțel nu pot funcționa. Inconvenientul principal al rulmenților ceramici este costul ridicat.

Materialul cel mai indicat pentru fabricarea rulmenților este nitrura de siliciu (Si_3N_4) care se topeşte la 1875 ^{o}C, este rezistentă la acțiunea agenților chimici şi are o structură fină şi o tenacitate bună, precum şi un coeficient de frecare mic.

e) – Bioceramica devine din ce în ce mai utilă în medicină. Ortopezii folosesc bioceramica pentru înlocuirea şoldurilor, genunchilor, umerilor, coatelor, degetelor şi încheieturilor mâinilor corpului uman. Ea este folosită şi în stomatologie şi chiar la fabricarea valvelor de inimă. Implanturile ceramice tind să le înlocuiască pe cele metalice, datorită faptului că ele sunt compatibile cu corpul uman, stimulând reformarea oaselor şi a țesuturilor şi nu sunt atacate de sistemul imunitar al organismului.

Materialul ceramic cel mai apropiat de compoziția şi structura osoasă a corpului uman este hidroxiapatitul fosfocalcic, cu formula chimică $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. El se obține din reacția fosfaților de calciu acizi şi bazici într-o soluție apoasă, obținându-se o pastă care se poate modela uşor. Produsul ceramic

are o rețea cristalină foarte apropiată de cea a osului şi o rezistență la compresiune de circa 20 MPa. Nu conține materii organice umane sau animale, aşa că nu prezintă nici un risc de contaminare. De asemenea, nu există pericol de respingere sau de toxicitate. Recunoscut de celulele osoase, este perfect compatibil cu țesuturile vecine, se resoarbe şi dispare, lăsând locul unui os proaspăt format.

Întrucât rezistența mecanică a hidroxiapatitului fosfocalcic este destul de mică, acesta se foloseşte adesea pentru a îmbrăca implanturile ortopedice metalice în scopul evitării respingerii lor de către țesuturile vecine. Oricum, acest material ceramic sintetic este speranța de viitor în domeniul implanturilor osoase.

3

MATERIALE AVANSATE

3.1. Generalități

La baza tuturor revoluțiilor industriale au stat diverse materiale: oțelul pentru calea ferată, cuprul pentru electricitate, aluminiul pentru avioane, materialele plastice pentru bunurile de consum de după al doilea război mondial, siliciul pentru semiconductoare şi materialele compozite pentru articolele sportive şi construcțiile aerospațiale. Multe materiale au fost inițial utilizate în industria de război, pentru ca ulterior să-şi găsească aplicații în diferite domenii ale vieții de zi cu zi. Dezvoltarea impetuoasă a chimiei şi a ştiințelor înrudite şi cunoaşterea legăturilor existente între structura chimică şi proprietățile materialelor au făcut posibilă obținerea unor materiale destinate unor scopuri precise de utilizare. Industriile moderne reclamă, în continuare, materiale care să funcționeze în condiții din ce în ce mai severe, inovațiile tehnice fiind adesea condiționate de apariția unor noi materiale. Inginerii care lucrează în diversele ramuri ale tehnicii trebuie să ştie să aleagă materialul potrivit la locul potrivit.

Separarea între materialele tradiționale şi cele avansate este greu de făcut, pentru că materialul avansat de azi, mâine va fi considerat tradițional. Folosirea materialelor noi se realizează după un scenariu clasic: pe măsură ce prețul lor scade, ele trec din industria aerospațială în cea a automobilelor şi sfârşesc prin a fi bunuri de larg consum.

Astfel, compozitele au cucerit industria aerospațială în detrimentul aliajelor de aluminiu, care înlocuiesc oțelul în construcția de automobile. Aceste tendințe sunt prezentate schematic în fig.3.1.

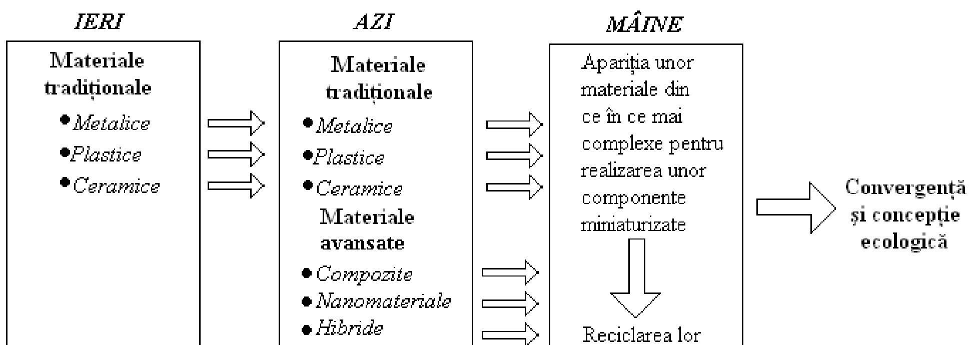


Fig.3.1. Evoluția materialelor în timp.

În concluzie, materialele avansate se folosesc la fabricarea produselor noi

sau îmbunătățite, de înaltă tehnicitate şi au proprietăți fizico-mecanice sau funcționale diferite de ale materialelor tradiționale. După natura lor şi domeniul de utilizare, ele pot fi: metalice, plastice, ceramice, compozite, biomedicale şi inteligente.

3.2. Materiale metalice avansate

3.2.1 Generalități

Ghidul mondial al materialelor metalice cuprinde peste 18.000 tipuri de metale şi aliaje. În fig.3.2. este prezentată tendința evoluției acestora în perioada următoare. Astfel, metalele grele (curba *1*) vor suferi o descreştere destul de accentuată, datorită reglementărilor drastice privitoare la sănătatea populației şi protecția mediului înconjurător. În ceea ce priveşte aliajele fier-carbon (fonte şi oțeluri), acestea vor creşte liniar cu 1…3% pe an, o lungă perioadă de timp (curba *2*). Metalele uşoare (aluminiu, magneziu, titan) şi aliajele acestora vor marca o creştere mai accentuată, de 2…6% pe an (curba *3*), în timp ce metalele de înaltă tehnicitate (tandal, galiu, germaniu, indiu, platină, seleniu, paladiu, reniu) vor avea inițial o creştere explozivă, de peste 20% pe an, care se va estompa apoi asimptotic, datorită secătuirii minereurilor din care provin (curba *4*).

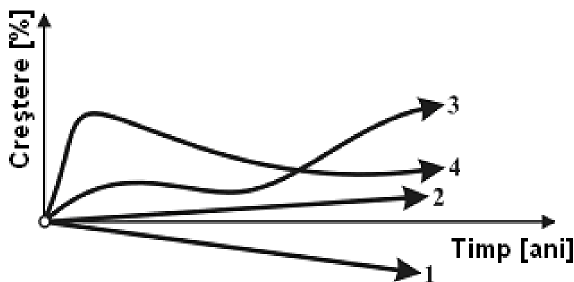


Fig. 3.2. Perspectiva materialelor metalice.

Din categoria materialelor metalice avansate fac parte: oțelurile avansate de înaltă rezistență, aliajele de aluminiu, magneziu şi titan, superaliajele, spumele metalice şi aliajele amorfe.

3.2.2. Oțeluri avansate de înaltă rezistență (AHSS)

Aceste oțeluri (fig.3.3.) au fost create după principiul compozitelor: prin tratamente termomecanice se ajunge la îmbunătățirea proprietăților unor elemente componente din masa oțelului de bază, obținându-se astfel un amestec de faze dure şi faze maleabile. Datorită acestui fapt, ele se mai numesc *oțeluri multifaze* şi au proprietăți excepționale de rezistență.

În fig. 3.3. sunt reprezentate mai multe tipuri de oțeluri, într-un sistem de coordonate grad de deformare [%] – rezistență minimă la rupere [MPa]: oțeluri cu rezistență mică la rupere (R_m < 210 MPa), oțeluri cu rezistență mare la rupere (R_m= 210…550 MPa) şi oțeluri cu rezistență foarte mare la rupere (R_m > 550 MPa). În diagramă mai sunt reprezentate oțelurile rapide (*High Speed Steels* – HSS) şi oțelurile avansate de înaltă rezistență (*Advanced High Strength Steels* –

AHSS).

Din categoria oțelurilor avansate de înaltă rezistență fac parte oțelurile bifazic şi multifazic, oțelul cu modificarea forțată a plasticității, oțelul martensitic îmbătrânit şi oțelurile duplex şi damaschinat.

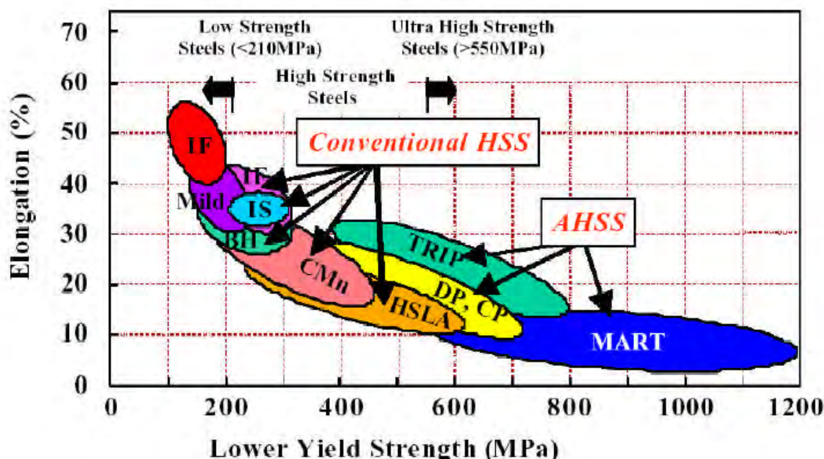


Fig. 3.3. Deformabilitatea oțelurilor în funcție de rezistența la rupere.
[Sursa: ULSAB – AVC Overview Report]

a) – Oțelul bifazic (***Dual Phase – DP***) este constituit dintr-o matrice feritică moale care încorporează insule de martensită dură. Ferita conferă oțelului o ductilitate foarte bună, iar martensita, proprietăți sporite de rezistență mecanică. Aceste proprietăți se obțin printr-un tratament termomecanic cu deformarea la cald a austenitei şi prin aliere cu Cr, Mo, V şi Ni. Austenita se transformă în cea mai mare parte în ferită, în timpul deformării plastice la cald, iar austenita rămasă se transformă în martensită, prin răcire bruscă în apă sau ulei.

Oțelul bifazic se prelucrează uşor prin deformare plastică şi se utilizează îndeosebi în industria automobilelor.

b) – Oțelul multifazic (***Complex Phase – CP***) este constituit dintr-o matrice de ferită care încorporează mici insule de martensită, austenită reziduală şi perlită. Structura sa este foarte fină, datorită recristalizării întârziate sau precipitării unor elemente de aliere, cum ar fi titanul. În cazul oțelurilor multifazice, mai uşor deformabile, care se prelucrează prin laminare la rece sau tragere, o parte a martensitei este înlocuită cu beinită, mai puțin dură, care se obține printr-o călire izotermă.

Oțelul multifazic este mai bun decât cel bifazic, dar mai scump.

c) – Oțelul cu modificarea forțată a plasticității (***Transformation Induced Plasticity – TRIP***) face parte dintr-o generație nouă de oțeluri slab aliate care îmbină rezistența înaltă la tracțiune (R_m = 500…800 MPa) cu o plasticitate ameliorată, răspunzând exigențelor industriei de automobile. Se obține de asemenea printr-un tratament termomecanic cu deformarea la cald a austenitei şi

conţine insule de martensită şi beinită, încorporate într-o matrice de ferită, comportându-se ca un material compozit. Se prelucrează bine prin deformare plastică şi are o foarte bună rezistenţă la oboseală.

d) – Oţelul martensitic îmbătrânit (***Martensitic Ageing*** sau ***Maraging Steel – MART***) are o rezistenţă mecanică superioară (R_m = 600…1200 MPa), o tenacitate foarte bună şi o maleabilitate bună. Este aliat cu 17…19% nichel, 8…12% cobalt, 3…5% molibden şi 0,2…1,6% titan (X2NiCoMo18-9-5), iar pentru a deveni inoxidabil, şi cu crom (X2NiCrMoTi10-10-5). Elementele de aliere formează soluţii suprasaturate care pot fi descompuse printr-un tratament termic, aplicat după călire, numit *îmbătrânire*. Îmbătrânirea artificială este de fapt o *durificare prin precipitare* care constă în încălzirea oţelului sub temperatura de austenitizare şi menţinerea îndelungată la această temperatură, pentru descompunerea soluţiilor solide suprasaturate şi apariţia fazelor secundare într-o dispersie controlată şi apropierea de echilibru a soluţiei solide. Tipul, mărimea, distribuţia şi cantitatea de particule precipitate depind de temperatură, de durata de menţinere la temperatură şi de starea iniţială a microstructurii.

Oţelurile martensitice îmbătrânite se pot utiliza până la temperaturi de 400^0C şi se folosesc în industria de autoturisme (arbori cotiţi, roţi dinţate), la fabricarea armelor automate şi a armelor albe utilizate în scrimă (sabie, floretă, spadă), a unor instrumente chirurgicale, precum şi în construcţiile aerospaţiale.

e) – Oţelul duplex este un oţel inoxidabil cu structură bifazică alcătuită din cantităţi aproximativ egale de ferită şi austenită. Fiind aliat cu crom, nichel şi molibden, este rezistent la coroziunea intergranulară, dar prin sudare îi scade ductilitatea (rezilienţa). Pentru înlăturarea acestui neajuns, se mai aliază cu azot care îi creşte şi rezistenţa la coroziunea clorului.

Oţelurile duplex au fost elaborate iniţial prin 1930, în Suedia, pentru creşterea rezistenţei la coroziune a instalaţiilor pentru fabricarea hârtiei sulfizate şi au fost perfecţionate prin anii 1970, când a început exploatarea offshore a zăcămintelor de petrol din Marea Nordului. În Uniunea Europeană sunt standardizate următoarele mărci: X2CrNi 23-4, X2CrNiMoN 27-5-2, X2CrNiMoN 22-5-3, X2CrNiMoCuN 25-6-3, X2CrNiMoN 25-7-4 şi X2CrNiMoCuWN 25-7-4.

f) – Oţelul damaschinat este format din straturi albe şi ductile, sărace în carbon, care absorb şocurile şi straturi mai închise, bogate în carbon, care asigură rezistenţă şi duritate. Denumirea lui vine de la celebrul *oţel de Damasc*, descoperit în Evul Mediu şi dispărut în sec. 19, din care s-au fabricat săbii şi lame de cuţit, pornind de la lingouri alcătuite din straturi succesive cu conţinuturi diferite de carbon. Prin forjare, piesele prezentau motive ondulate pe toată suprafaţa, asemenea intarsiilor, iar săbiile erau vestite pentru că aveau tăişuri foarte ascuţite care rezistau mult timp, datorită durităţii oţelului.

Oţelul damaschinat a fost îmbunătăţit faţă de cel original şi astăzi se utilizează îndeosebi la fabricarea cuţitelor de foarte bună calitate.

3.2.3. Aliaje uşoare

Metalele uşoare (aluminiul, magneziul şi titanul) formează aliaje cu

densităţi mici şi cu proprietăţi mecanice foarte bune care se folosesc la fabricarea automobilelor, vapoarelor şi avioanelor, precum şi în alte ramuri industriale.

3.2.3.1. Aliaje de aluminiu. Există astăzi în lume circa 200 aliaje de aluminiu turnate şi 400 aliaje de aluminiu deformabile. Ele se clasifică după criteriile prezentate în fig.3.4.

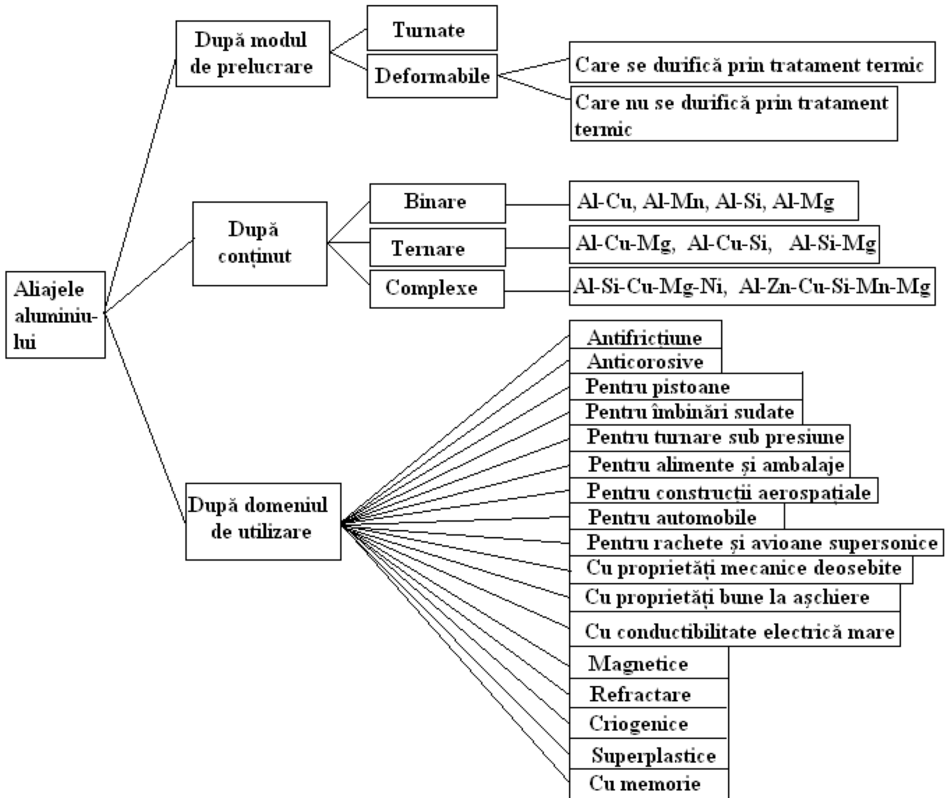


Fig. 3.4. Clasificarea aliajelor de aluminiu.

Aliajele de aluminiu prezintă următoarele avantaje: sunt uşoare (cam o treime din greutatea oţelului); sunt rezistente la coroziune; caracteristici mecanice bune; conductibilităţi termică şi electrică bune; se pot durifica prin tratamente termice; se prelucrează uşor prin turnare, deformare plastică şi prin metalurgia pulberilor. În acelaşi timp, au şi următoarele dezavantaje: rezistenţă slabă la uzură şi oboseală; contracţie mare la solidificare (3,5…8,5%); coeficientul de dilatare şi conductibilitatea termică impun precauţii la sudare şi aşchiere.

Ca aliaje de aluminiu avansate se menţionează:

a) – Aliajele de aluminiu pentru automobile se folosesc sub formă de piese turnate sau matriţate sau sub formă de table, bare sau profiluri şi au la bază următoarele sisteme: Al-Si cu adaosuri de bor, beriliu, titan, mangan, cadmiu, zirconiu şi pământuri rare; Al-Si-Mg şi Al-Si-Cu cu adaosuri de mangan, beriliu,

cadmiu, molibden, titan, crom şi zirconiu; Al-Cu-Mg cu adaosuri de litiu, cadmiu, nichel şi titan; Al-Mg şi Al-Mg-Zn cu adaosuri de mangan, crom şi beriliu; Al-Si-Mg cu adaosuri de cupru, mangan şi crom şi cu limitarea conținutului de fier şi siliciu. Dacă în anul 2000, la fabricarea unui automobil european se foloseau 90 kg de aluminiu, astăzi se folosesc 140 kg.

Tablele pentru caroseriile automobilelor se prelucrează prin ambutisare, putând suporta îndoiri de până la 180^0, iar pentru îmbunătățirea unor proprietăți mecanice sunt supuse unui tratament termic de îmbătrânire artificială care, ca şi în cazul oțelurilor martensitice, este o durificare prin precipitare. Ele mai trebuie să suporte şocurile, prin deformare, fără a se fisura.

b) – Aliajele de aluminiu pentru construcții aerospațiale au proprietăți mecanice superioare şi o bună rezistență la coroziune: Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg şi Al-Zn-Mg-Cu cu adaosuri de crom, cobalt, zirconiu, nichel, cadmiu, argint, litiu, beriliu, bor şi lantanide. Pentru construcția avioanelor ruseşti Mig 21 şi Mig 29 se foloseşte un aliaj al aluminiului cu 0,1…0,5% scandiu, iar firma americană Smith & Wesson foloseşte acelaşi aliaj la fabricarea patului revolverelor.

Rezervoarele de combustibil ale navetelor spațiale americane sunt confecționate dintr-un aliaj ultrauşor Al-Li.

c) – Aliajele de aluminiu refractare fac parte din sistemele Al-Cu-Mg-Mn, Al-Cu-Si-Mn, Al-Cu-Si, Al-Si-Cu, Al-Cr-Zr, Al-Cr-Fe, Al-Be-Mg, Al-Zn – lantanide cu adaosuri de argint, aur, cadmiu şi crom şi se utilizează până la 350…400 ^{0}C. Recent, a fost realizat un aliaj Al-Ti (50% Al şi 50% Ti) care este foarte uşor şi rezistă până la 1000 ^{0}C. El este foarte greu de obținut, având în vedere diferența dintre temperatura de topire a aluminiului (658 ^{0}C) şi titanului (1.668 ^{0}C). Acest lucru este posibil numai în cuptoare cu plasmă, prin topiri succesive, care asigură aliajului şi o bună omogenitate.

d) – Aliajele de aluminiu criogenice se utilizează la temperaturi scăzute, astfel: Al-Ni cu adaosuri de vanadiu, molibden şi mangan se pot folosi până la –196 ^{0}C ; Al-Mg, Al-Mn şi Al-Mg-Mn-Cr, cu limitarea conținutului de fier, siliciu, cupru şi zinc sau Al-Zn-Mg-Cu şi Al-Si-Mg, folosite la fabricarea cisternelor pentru transportul gazelor lichefiate (oxigen, azot, heliu, argon, hidrogen, etilenă), în instalațiile frigorifice şi la construcția rachetelor care funcționează cu oxigen şi hidrogen lichid; Al-Au pentru confecționarea conductoarelor din medii criogenice.

e) – Aliajele de aluminiu superplastice au proprietatea de a avea alungiri la rupere comparabile cu ale materialelor plastice, de câteva sute de procente sau chiar peste o mie de procente. Deformarea superplastică este determinată de existența unor grăunți cristalini fini, sub 10 μm, ea fiind optimă dacă se face la o temperatură de $0{,}5 \cdot T_i$ (T_i este temperatura de topire a aliajului). Astfel, aliajul aluminiului cu 6% cupru şi 0,5% zirconiu are o alungire la rupere de 2000%, dacă deformarea se face la temperatura de 475 ^{0}C. Aceasta are mai multe avantaje: datorită deformabilității mari, produsele se pot obține dintr-o singură operație; forțele de prelucrare şi consumul specific de energie sunt mai mici; deşeurile rezultate sunt puține; microstructura aliajelor este uniformă, ceea ce conduce la obținerea unor piese cu proprietăți mecanice uniforme; costul produselor este mai

mic. Există şi un dezavantaj: fluajul este scăzut.

Ca aliaje de aluminiu superplastice se menționează: Al-Cu-Mg, Al-Cu-Ni, Al-Mg-Si, Al-Si-Ni, Al-Cu-Zr şi Al-Zn-Mg-Zr. Aceste aliaje au A= 200…2000%, în intervalul de temperatură 400…550 ^{0}C.

3.2.3.2. Aliaje de magneziu. Aliajele de magneziu se utilizează îndeosebi în industria aeronautică şi în construcția de autovehicule, fiind cele mai uşoare materiale metalice. Magneziul este cu 78% mai uşor decât oțelul şi cu 55% mai uşor decât aluminiul, este foarte rezistent la şocuri, are stabilitate dimensională bună şi un raport rezistență/greutate foarte bun, se poate prelucra prin turnare la cotele finale, este reciclabil, iar rezervele din care provine sunt abundente.

Aliajele de magneziu se clasifică după criteriile din fig.3.5.

a) – Aliajele de magneziu cu rezistență mecanică mare sunt soluții solide de interstiție sau substituție, tratate termic prin călire şi îmbătrânire. Ele se obțin prin turnare (Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr) sau prin deformare plastică (Mg-Mn, Mg-Al-Zn-Mn, Mg-Zn-Zr) şi se utilizează în construcțiile aerospațiale şi aeronautice, precum şi la fabricarea automobilelor.

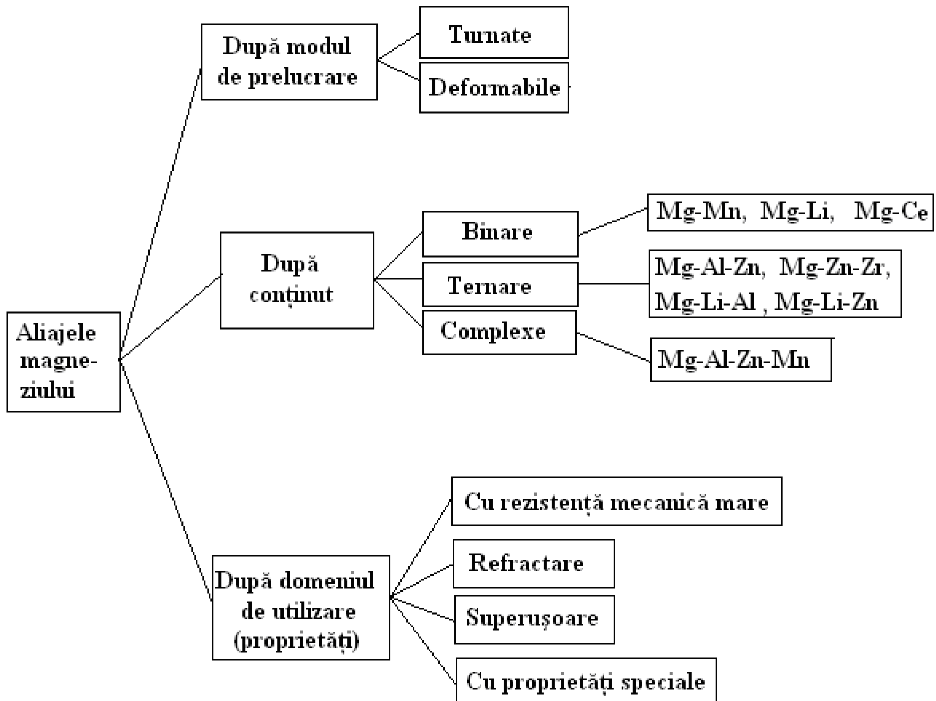


Fig. 3.5. Clasificarea aliajelor de magneziu.

b) – Aliajele de magneziu refractare se obțin atât prin turnare (Mg-Nd, Mg-Nd-Y-Zn), cât şi prin deformare plastică (Mg-Nd-Mn, Mg-Nd-Zr, Mg-Th-Mn, Mg-Th-Zn-Zr) şi se pot utiliza până la 400 ^{0}C. Ele sunt supuse unor tratamente de călire şi îmbătrânire artificială, pentru îmbunătățirea unor proprietăți mecanice şi se utilizează în construcții aeronautice (avioane supersonice şi rachete.)

c) – Aliajele de magneziu superuşoare (Mg-Li, Mg-Li-Al, Mg-Li-Zn) se caracterizează prin plasticitate mare, modúl de elasticitate ridicat, limită de curgere la compresiune mare, conductibilitate termică mare, rezistenţă mare la încovoiere, rezilienţă bună, sudabilitate bună şi proprietăţi mecanice bune la temperaturi scăzute. Ele se utilizează în construcţia sateliţilor artificiali şi a staţiilor extraterestre.

d) – Aliajele de magneziu cu proprietăţi speciale se folosesc în construcţiile pentru amortizarea vibraţiilor mecanice şi ultrasunetelor (Mg-Ce, Mg-Nd), precum şi în energetica nucleară ca materiale-suport pentru elementele de combustie din reactoarele nucleare (Mg-Zr, Mg-Zr-Pb).

Tot la reactoarele nucleare se utilizează un aliaj al magneziului cu mici cantităţi de aluminiu şi alte elemente, numit *magnox*, care are rolul de a reţine produsele de fisiune nucleară. El nu se poate însă folosi la temperaturi mai mari de 360 ^{0}C.

3.2.3.3. Aliaje de titan. Titanul este un metal de culoare albă-argintie, cu densitatea de 4,51 kg/dm^3 (cu 45% mai uşor decât oţelul şi cu 60% mai greu decât aluminiul), care se topeşte la 1.668 ^{0}C. Deşi a fost descoperit în anul 1794, nu a devenit metal industrial decât după 1950, întrucât unele impurităţi (oxigen, azot, hidrogen) îl făceau casant şi inutilizabil. Astăzi este foarte căutat, având cel mai bun raport rezistenţă la rupere /densitate dintre toate metalele. Are o comportare bună la fluaj, o rezistenţă excepţională la coroziune şi este compatibil cu organismul uman, fapt pentru care se utilizează la implanturi medicale. Deşi este destul de răspândit în scoarţa terestră – 0,57% – fiind al 9-lea element chimic ca importanţă, este foarte scump, datorită metalurgiei energofage, producţia mondială fiind de circa 60 mii tone/an. Titanul prezintă două forme alotropice: Tiα, stabil până la 883 ^{0}C, cu reţea hexagonală compactă şi Tiβ , sub 883 ^{0}C, cu reţea cubică cu feţe centrate.

Titanul se poate alia cu Al, Mo, V, Mn, Cr, Sn, Fe, Zr şi Nb. Ca şi la oţelurile aliate, elementele de aliere solubile în titan influenţează punctul critic de transformare, ridicându-l (faza α) sau coborându-l (faza β). Clasificarea aliajelor de titan se face după criteriile prezentate în fig.3.6.

a) – Aliajele cu structură α (Ti-Al, Ti-Al-Sn, Ti-Al-Zr, Ti-Al-Sn-Cu, Ti-Cu-Zr) au ca principal element de aliere aluminiul. Nu se durifică prin tratament termic, dar se sudează prin procedeele WIG-MIG şi se prelucrează satisfăcător prin aşchiere. Au o tenacitate bună şi o rezistenţă la coroziune foarte mare. Pentru îmbunătăţirea caracteristicilor mecanice şi a refractarităţii se aliază cu staniu şi zirconiu. Se utilizează la fabricarea unor piese pentru avioane, precum şi la instalaţiile criogenice, chimice şi navale, fiind superioare titanului tehnic din punctul de vedere al proprietăţilor şi mai ieftine.

b) – Aliajele cu structură $\alpha+\beta$ (Ti-Al-Mn, Ti-Al-V, Ti-Al-Mo, Ti-Al-Nb, Ti-Al-Mo-V, Ti-Al-Mo-Cr) se pot durifica termic, au proprietăţi mecanice bune, se pot prelucra prin deformare plastică la rece, se sudează în atmosferă de gaze protectoare şi se pot turna. Un exemplu reprezentativ de aliaj cu structură $\alpha+\beta$ este marca TiAl6V4, care reprezintă jumătate din totalitatea aliajelor de titan. Aluminiul

îi scade greutatea şi realizează faza α, iar vanadiul îi creşte ductilitatea la cald şi realizează faza β. Aliajul are o rezistență la rupere de 1.100 MPa, este rezistent la fluaj până la 300 ^{0}C, este rezistent la oboseală şi se toarnă uşor.

Aceste aliaje se folosesc în cantitate mare (până la 20…30%) în construcția unor aeronave civile (Boeing 747) sau militare (F14, F15), precum şi în industria de automobile sau la fabricarea turbinelor şi a altor instalații care lucrează în mediul marin. Dacă se aliază cu 0,25 paladiu, se pot utiliza la construcția aparatelor care lucrează în condiții de coroziune foarte mare şi cărora lise solicită proprietăți mecanice superioare.

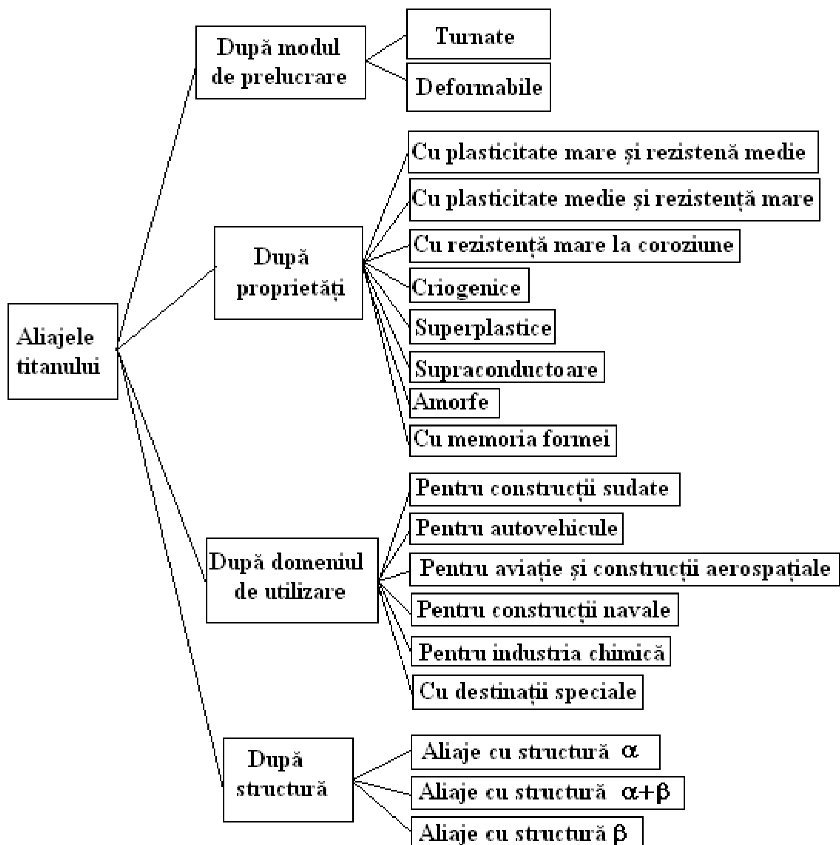


Fig. 3.6. Clasificarea aliajelor de titan.

c) – Aliajele cu structură β (Ti-Mo-V-Cr, Ti-W-Nb-Mo, Ti-Mo-Cr-Fe) sunt mai puțin răspândite, dar prezintă interes deoarece posedă simultan rezistență mecanică bună şi plasticitate foarte bună, putându-se prelucra prin toate procedeele de deformare plastică. Proprietățile mecanice se îmbunătățesc substanțial prin călire şi îmbătrânire artificială.

d) – Aliajele de titan rezistente la coroziune (Ti-Pd, Ti-Nb, Ti-Mo-Zr-V,

Ti-Ni-Cu, Ti-Ni-Zr, Ti-Mo-Nb-Zr, Ti-W-Zr-Nb) se utilizează în instalaţiile chimice (acizi sulfuric, azotic, clorhidric şi formic), în industria de medicamente şi petrochimie, în construcţia instalaţiilor de vid şi autoclavelor (vase închise ermetic care se folosesc la sterilizări sau la efectuarea unor reacţii chimice la temperaturi şi presiuni ridicate). Marca TiMo24Nb6Zr6 are cea mai mare rezistenţă la acţiunea acizilor clorhidric şi sulfuric, iar marca TiNb18Al15Hf1,5Si se foloseşte pentru construcţia turbinelor.

e) – Aliajele criogenice (Ti-V-Cr-Al, Ti-Mn, Ti-Al-Nb-Ta, Ti-Al-V, Ti-Al-Mo-V) se folosesc la temperaturi joase, fără pericolul apariţiei fragilităţii. Ele sunt supuse unui tratament termic de recoacere şi se utilizează la fabricarea instalaţiilor de păstrare şi transport ale gazelor lichefiate (CO_2, C_2H_4, CH_4, O_2, N_2, He), pentru temperaturi de –20 ^{0}C…– 269 ^{0}C. Pentru a rezista la aceste temperaturi joase, aliajele criogenice de titan au conţinuturile de impurităţi (Fe, Si, C, O_2, N_2, H_2) limitate drastic.

f) – Aliajele de titan cu proprietăţi speciale au o largă utilizare în tehnologiile de vârf, urmând a fi tratate ulterior, la capitolele respective: aliaje amorfe, aliaje supraconductoare şi aliaje cu memoria formei.

3.2.4. Superaliaje

Superaliajul este un aliaj metalic de înaltă performanţă care are proprietăţi mecanice excepţionale şi la temperaturi mai mari de 500 ^{0}C (îndeosebi rezistenţe la rupere, la oboseală şi la fluaj), precum şi rezistenţă la oxidare şi la coroziune. Elementele de bază ale unui superaliaj sunt nichelul, cobaltul şi fierul, cu adaosuri de titan, aluminiu, crom, molibden, wolfram, zirconiu, reniu, niobiu, carbon, bor şi hafniu.

Una din cele mai importante proprietăţi ale superaliajelor este rezistenţa la fluaj. Fluajul determină deformarea lentă şi continuă a materialelor metalice în timp, sub acţiunea unei sarcini constante de lungă durată, chiar dacă solicitarea materialului se află sub limita de elasticitate. Această proprietate numită şi *curgere lentă* variază cu temperatura, manifestându-se brutal la temperaturi mai ridicate. Întrucât superaliajele funcţionează la temperaturi ridicate, rezistenţa la fluaj este îmbunătăţită considerabil prin obţinerea unui cristal unic în timpul solidificării aliajului, eliminând formarea grăunţilor cristalini (structură dentritică unică). Alte proprietăţi mecanice (duritatea, rezistenţa la rupere şi la oboseală) se îmbunătăţesc prin mai multe procedee de durificare: formarea soluţiilor solide, prin adaosuri de wolfram, molibden şi tantal; precipitarea carburilor de crom, molibden, wolfram şi titan; precipitarea unor oxizi insolubili; formarea *in situ* a unor fibre de carburi sau compuşi intermetalici (eutectice orientate) printr-o răcire foarte lentă a aliajului.

Creşterea rezistenţei la oxidare şi la coroziune se realizează prin calorizare şi cromizare (tratamente termochimice cu aluminiu şi crom). Calorizarea se face prin încălzirea, timp îndelungat, a pieselor ce urmează a fi tratate, la 1080 ^{0}C, în clorură sau fluorură de aluminiu.

Elaborarea superaliajelor se face prin topire în vid, în cuptoare electrice cu inducţie, după care materialul topit este turnat în lingouri sau direct în piese. O altă

metodă de obţinere a pieselor direct la forma finală este prin metalurgia pulberilor. Prelucrarea prin agregare de pulberi constă în amestecarea acestora în proporţiile necesare, presarea sub forma dorită a amestecului şi aplicarea unui tratament termic de sinterizare, pentru compactizare şi obţinerea unor proprietăţi fizico-mecanice dorite.

Cea mai nouă metodă de obţinere a superaliajelor este *aliajul mecanic* care constă în măcinarea îndelungată într-o moară cu bile a unor pulberi metalice, îndeosebi de nichel, împreună cu oxizi de toriu sau ytriu. Mulţi oxizi sunt insolubili în metalele topite, dar tehnica aliajelor mecanice permite alierea, prin sudare la rece, a unor elemente care sunt dificil sau imposibil de combinat prin metode clasice de topire. În continuare, produsul rezultat din moară este supus unei presări izostatice la cald, la o temperatură de circa 0,6 din temperatura de topire a principalului component al amestecului, după care se aplică o recoacere de detensionare, pentru eliminarea tensiunilor interne.

Superaliajele se folosesc în domenii care reclamă menţinerea caracteristicilor mecanice la temperaturi ridicate, precum şi o bună rezistenţă la oxidare şi coroziune: turbine cu gaz industriale şi marine, motoare şi turbine de aviaţie, vehicule spaţiale, submarine, reactoare nucleare, schimbătoare de căldură, camere de combustie etc. Marile firme constructoare de avioane au în vedere o utilizare mai largă a superaliajelor la realizarea gamelor Boeing 787 şi Airbus 350, iar constructorul motoarelor Pratt & Whitney mizează pe superaliajele de nichel şi cobalt pentru funcţionarea mai eficientă a acestor motoare la temperaturi mai ridicate şi cu un consum mai scăzut de combustibil. Din păcate, superaliajele sunt foarte scumpe, ia metalele din care provin, tot mai rare, existând tendinţa ca, acolo unde este posibil, să fie înlocuite cu materiale compozite rezistente la temperaturi înalte.

În tabelul 3.1 sunt prezentate principalele mărci de superaliaje standardizate în lume, împreună cu principalele lor caracteristici.

3.2.5. Spume metalice

Spuma metalică are o structură metalică de bază care încorporează o mare cantitate de pori ce pot fi închişi sau deschişi, reprezentând 75…95% din volumul total al materialului. Ea păstrează unele caracteristici fizico-mecanice ale metalului din care provine, dar în acelaşi timp este mult mai uşoară (chiar mai uşoară decât lemnul) şi slabă conducătoare de căldură. De asemenea, se poate recicla, ajungându-se uşor la metalul de provenienţă. Metalele care se pretează obţinerii structurii celulare sunt aluminiul, titanul, magneziul, nichelul şi cuprul, cele mai bune rezultate obţinându-se în cazul aluminiului, datorită procedeelor mai accesibile de fabricare. Diametrul porilor este de 1…8 mm, dar există şi pori alungiţi sau chiar invizibili cu ochiul liber.

Deşi procedeul este cunoscut de prin anii 1950, el a fost aplicat industrial de abia prin anii 1990 de firma Shinko Wire din Japonia, impunându-se apoi după o expoziţie de automobile din 1998, de la Detroit, când societatea Karmann şi Institutul Fraunhofer IFAM din Germania au folosit spumă de aluminiu (*Alumini-*

Tabelul 3.1. **Principalele superaliaje existente în lume**

Ele-men-tul	Denumirea	Marca	Standardul	Compoziția chimică	Caracteristici principale
0	1	2	3	4	5
Aliaje de nichel	Hastelloy B2	UNS N 10065	ASTM B 333	NiMo28	Rezistență bună la acizii clorhidric, sulfuric şi fosforic. Rezistă în atmosferă oxidantă până la 760 ^{0}C.
	Hastelloy C 22	UNS N 06022	ASTM B 275	NiCr21Mo14W	Rezistă la coroziunea unui număr mare de agenți chimici industriali. Sudabilitate excelentă.
	Hastelloy C 276	UNS N 10276	ASTM B 575	NiMo16Cr15W	Rezistență bună la agenții oxidanți. Aşchiabilitate bună. Aceleaşi proprietăți ca Hastelloy C 22.
	Hastelloy G 30	UNS N 06030	ASTM B 582	NiCr30FeMo	Rezistență excelentă la acțiunea acidului fosforic şi a mediilor oxidante.
	Hastelloy X	UNS N 06002	ASTM B 435	NiCr22Fe18Mo	Rezistență excelentă în atmosfere oxidante până la 1200 ^{0}C.
	Haynes 230	UNS N 06230	AMS 5536	NiCr22W14Mo	Rezistență excepțională în atmosfere oxidante până la 1150 ^{0}C, pe durate lungi de timp.
	Inconel 600	UNS N 06600	ASTM B 168 AMS 5540	NiCr15Fe	Caracteristici mecanice şi de aşchiere bune. Rezistență la coroziune bună până la 1230 ^{0}C
	Inconel 625	UNS N 06625	ASTM B 443 AMS 5599	NiCr22Mo9Nb	Rezistență excepțională la coroziune. Rezistență la oboseală. Rezistență excelentă de la temperaturi criogenice până la 1100^{0}C.
	Inconel 718	UNS N 07718	ASTM B 670 AMS 5596, 5597	NiCr19FeNb	Aliaj de înaltă rezistență care se durifică prin precipitare. Rezistență la coroziune de la –250^{0}C până la +700^{0}C.

Tabelul 3.1.(continuare)

0	1	2	3	4	5
	Inconel X 750	UNS N 07750	ASTM B 637 AMS 5548, 5598	NiCr15Fe7Ti	Rezistență bună la oxidare şi la coroziune. Rezistență bună la rupere până la 815 ^{0}C.
	Incoloy 800	UNS N 08800	ASTM B 409 AMS 5871	X8NiCr32.20	Rezistență la oxidare şi coroziune la temperaturi înalte.
	Incoloy 825	UNS N 08825	ASTM B 424	NiCr23Fe	Rezistență mare în medii corosive sulfurice şi fosforice şi în apă de mare.
	Monel 400	UNS N 04400	ASTM B 127 AMS 4544	NiCu30Fe	Rezistență bună la oxidare şi coroziune până la 535 ^{0}C şi în apă de mare.
	Waspaloy	UNS N 07001	AMS 5544	NiCr20Co13Mo4Ti3	Aliaj durificabil prin precipitare pentru piese cu rezistență ridicată la coroziune până la 870 ^{0}C.
Aliaje de cobalt	Haynes 25	UNS R 30605	AMS 5537	CoCr20WNi	Caracteristici bune la temperaturi ridicate. Rezistență la oxidare până la 1035 ^{0}C.
	Haynes 188	UNS R 30188	AMS 5608	CoNi22CrW	Caracteristici excelente la temperaturi ridicate Rezistență la oxidare până la 1090 ^{0}C.
	Elgiloy Phynox	UNS R 30003	ISO 5832-7 ASTM F 1058 ASM 5875, 5876	CoCr20Ni16Mo7	Caracteristici mecanice ridicate, rezistență la oboseală bună, rezistență la coroziune excelentă, biocompatibilitate.
	M 64 BC	Alliage 21	ISO 5832 -12 ASTM F 799 ASTM F 1537	CoCr28Mo	Caracteristici mecanice ridicate, rezistență înaltă la coroziune, biocompatibilitate.
	XSH	Alloy 1	ISO 5832 -5 ASTMĂ F 90	CoCr20W15Ni	Radioopacitate ridicată, biocompatibilitate.

Observații: 1)-*ASTM* – American Society for Testing and Materials; 2)-*AMS* – Advanced Materials and Structures (Colecție de standarde a SAE – Society of Automotive Engineers, Troy, Michigan); 3)-*ISO* – International Organization for Standardization

um Foam Sandwich) ca element de amortizare la tamponarea din faţă a unui autoturism Mercedes. Spuma de aluminiu este cunoscută printr-o combinare interesantă a proprietăţilor fizice şi mecanice: rigiditate mare, densitate foarte mică (10…25% din densitatea metalului de bază, astfel că poate pluti pe apă), conductibilitate termică şi electrică scăzută, capacitate extraordinară de amortizare a şocurilor, blindaj electromagnetic, capacitate de izolare acustică şi reducere a vibraţiilor şi rezistenţă la foc. În acelaşi timp, are o rezistenţă mecanică scăzută, este scumpă şi după deformarea prin şoc nu se mai poate utiliza (dar se poate recicla).

În ceea ce priveşte procedeele de prelucrare a spumelor metalice, există trei căi principale:

a) – Prelucrarea pe cale gazoasă se aplică mai puţin şi constă în condensarea vaporilor metalici pe o structură celulară confecţionată din răşini sintetice. După solidificarea metalului depus, structura iniţială polimerică este distrusă prin ardere sau topire.

b) – Prelucrarea pe cale solidă se aplică de asemenea mai rar şi îndeosebi în cazul aluminiului. Metoda constă în amestecarea pulberii de aluminiu cu hidrură de titan (TiH_2),extrudarea amestecului şi încălzirea produsului extrudat la 600 ^{0}C. La această temperatură, hidrura de titan se descompune, punând în libertate hidrogen, care formează goluri în masa de aluminiu vâscos (aluminiul se topeşte la 658,6 ^{0}C).

c) – Prelucrarea pe cale lichidă este procedeul preponderent de obţinere a spumelor metalice şi se realizează prin următoarele metode:

- *turnarea aluminiului topit într-o baie de săruri neutre* constă în topirea unui amestec de săruri neutre într-un creuzet, după care, în baia de săruri se toarnă o cantitate determinată de aluminiu topit. Aluminiul şi sărurile trebuie să aibă densităţi apropiate, pentru evitarea segregării la solidificare. După solidificare, sărurile se înlătură printr-o simplă dizolvare în apă;

- *folosirea unui agent spumogen* este aplicată de firma japoneză Shinko Wire din Amagasaki şi constă în introducerea în aluminiul topit, la temperatura de 680 ^{0}C, a unei cantităţi de 1,6% TiH_2 . Pentru ca aluminiul topit să fie cât mai vâscos, în prealabil, în masa lui se introduce 1,5% calciu, formându-se compusul Al_2CaO_4. Hidrura de titan se descompune, punând în libertate hidrogen care, la solidificare, formează goluri cu diametre de 2…10 mm în masa de aluminiu;

- *injectarea unui gaz în topitura de aluminiu* (fig.3.7) se aplică de firmele Hydro Aluminium din Norvegia şi Cymat Aluminium Corporation din Canada. Pentru creşterea vâscozităţii aluminiului din rezervorul *1* şi pentru întârzierea ridicării la suprafaţă a bulelor din camera de barbotare *2*, în aluminiul topit se introduc carbură de siliciu şi oxizi de aluminiu şi magneziu. Prin conducta *3*, la capătul căreia este montat un agitator cu elice, se insuflă un gaz (aer, azot, argon) care formează bule în masa de aluminiu topit. Particulele ceramice adăugate băii metalice asigură o flotabilitate lentă a bulelor către suprafaţă, precum şi obţinerea unei structuri omogene a spumei. La ieşirea din camera de barbotare *2*, spuma *4* se solidifică şi este preluată de transportorul *5* . Densitatea produsului obţinut este de 0,069…0,54 g/cm^3 , iar diametrele cavităţilor de 3…25 mm. Aceasta este metoda

preponderentă pentru obținerea spumei de aluminiu.

În ceea ce priveşte oportunitățile de folosire a spumelor metalice, acestea vizează următoarele domenii:

- *transporturi*: automobile (protecție față la ciocniri frontale, protecția picioarelor şi capului şoferului şi pasagerului din față); construcții aerospațiale (suporturi pentru bateriile solare ale sateliților, panouri-sandviş);

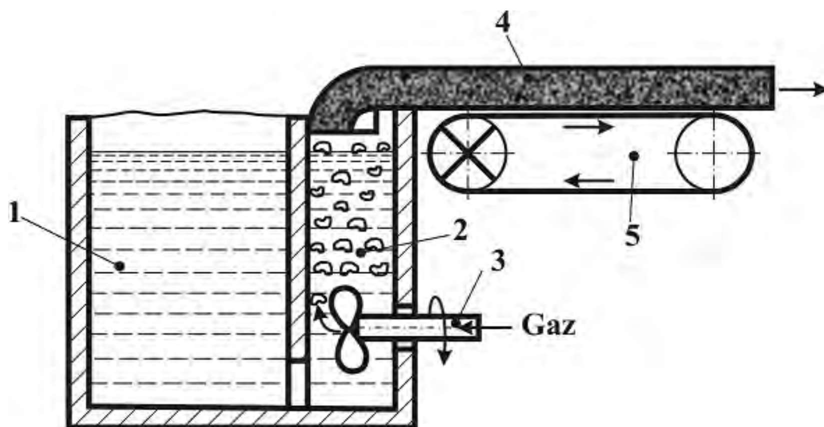


Fig.3.7. Obținerea spumei de aluminiu prin injectarea unui gaz.

- *construcții*: panouri-sandviş pentru construcții industriale şi plafoane de stadioane; uşi de protecție la incendii;
- *aplicații militare*: pontoane; absorbante de şocuri, zgomote şi vibrații; deflectoare de ultrasunete şi unde magnetice;
- *instalații de filtrare*: filtre de lichide sau gaze; filtre de sânge cu eliberarea lentă a unui medicament; atomizoare pentru pulverizarea fină a unor lichide; evaporatoare pentru instalații frigorifice;
- *ambalaje*: manşoane de protecție; învelişuri de protecție pentru rezervoare şi cisterne care transportă substanțe periculoase; glastre de flori cu rezervă de apă;
- *implanturi osoase*: titanul microporos se implantează într-un os fracturat sau într-un dinte cariat, iar structura osoasă se va dezvolta apoi în metal, realizând o conexiune permanentă (procedeul a fost experimentat deocamdată doar pe animale).

Spumele metalice sunt încă puțin cunoscute, aflându-se pe o piață emergentă, interesată mai ales de industria de automobile, dar s-ar putea ca această piață să devină atractivă şi pentru alți utilizatori.

3.2.6. Aliaje amorfe

Aliajele amorfe sunt materiale metalice cu structură amorfă, cu atomii aşezați dezordonat, contrară structurii cristaline a majorității metalelor şi aliajelor, caracterizate printr-o aşezare foarte ordonată a atomilor. Structura amorfă este

caracteristică sticlei şi de aceea aliajele amorfe se mai numesc *sticle metalice* sau *metale vitroase* . Ele se obţin printr-o răcire extrem de rapidă (v_r =10^3…10^9 ^{0}C/s), astfel că atomii nu mai au timp să se ordoneze în mod regulat în reţele cristaline, solidificându-se în starea dezordonată în care se află în faza lichidă.

Primul aliaj amorf s-a obţinut în 1960 (Au_{75} Si_{25}), sub forma unei benzi înguste cu grosimea de 0,1 mm, iar primele aplicaţii practice s-au realizat în anii 1980, prin folosirea unui aliaj de 80% fier şi 20% bor în construcţia miezurilor transformatoarelor electrice de putere. Cercetările ulterioare au arătat că obţinerea aliajelor amorfe este facilitată de următoarele condiţii: aliajul să conţină minimum 3 şi preferabil 5 elemente; mărimea atomilor elementelor componente să nu difere cu mai mult de 12%; temperatura de început de vitrifiere să fie mai mare decât temperatura de început de cristalizare; să existe eutectice profunde între elementele componente ale aliajului. Cele mai bune aliaje amorfe sunt aliajele pe bază de fier, bor, nichel, fosfor, siliciu, crom, zirconiu, carbon, titan, cupru şi alte elemente ($Ni_{49}Fe_{29}P_{14}B_6Al_2$, $Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$, $Fe_{60}Cr_{16}Mo_6B_{28}$, $Fe_{54}Cr_{16}Mo_{12}C_{18}$, $Fe_{83}B_{15}Si_2$, $Ti_{40}Cu_{36}Pd_{14}Zr_{10}$).

Elaborarea aliajelor amorfe se face printr-o răcire cu viteză ultrarapidă a topiturii din care provin, obţinându-se piese, benzi, fire sau pulberi.

a) – Obţinerea pieselor se face printr-o metodă asemănătoare cu turnarea centrifugală a metalelor (fig.3.8). Turnarea se poate face în forme metalice cu ax vertical (fig.3.8.a) sau cu ax orizontal (fig. 3.8.b). Formele metalice sunt confecţionate din aluminiu şi au un circuit de răcire forţată cu apă. Piesele turnate sunt foarte dure şi au o fragilitate ridicată, astfel că ele se obţin la forma finală, nemaiputând fi prelucrate prin procedee ulterioare.

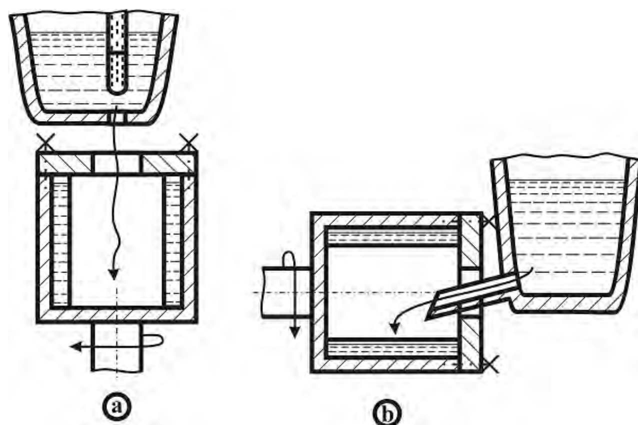


Fig. 3.8. Turnarea pieselor din aliaje amorfe.

b) – Obţinerea benzilor se realizează prin turnarea metalului topit pe un cilindru răcit cu apă. (fig.3.9.a) sau prin trecerea acestuia printre doi cilindri care se rotesc în sensuri contrare, după principiul laminării (fig.3.9.b). În primul caz, pentru creşterea duratei de contact a metalului cu cilindrul, se utilizează un dispozitiv cu bandă de cupru sau beriliu. Aceasta este cea mai veche metodă pentru obţinerea produselor din metale amorfe, utilizată şi astăzi pentru obţinerea benzilor lungi din care se fabrică miezuri de transformatoare. Viteza de răcire trebuie să fie de circa 10^6 ^{0}C/s.

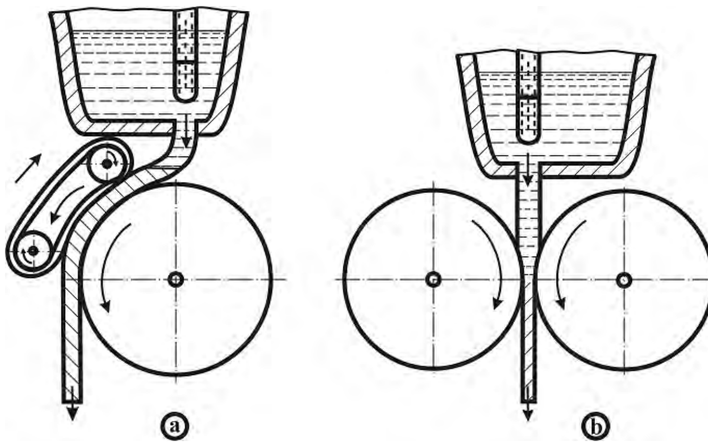


Fig. 3.9. Fabricarea benzilor din aliaje amorfe.

c) – Obținerea firelor (fig.3.10) se face prin răcirea ultrarapidă a aliajului topit care curge din oala de turnare *1* în conducta *2*, aflată în vasul *3* cu o soluție apoasă de NaOH. Firul *4* este înfăşurat pe bobina *5*.

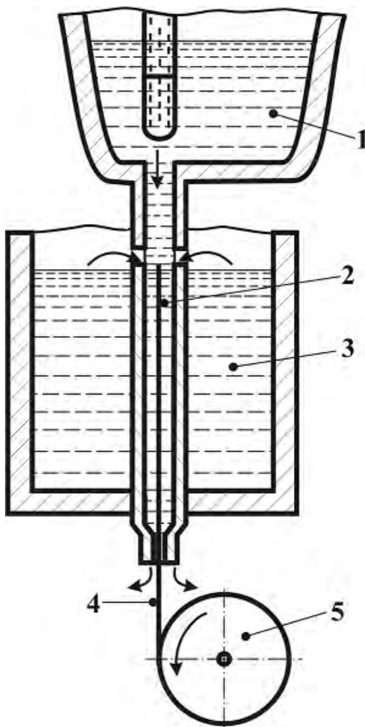


Fig.3.10. Fabricarea firelor din aliaje amorfe.

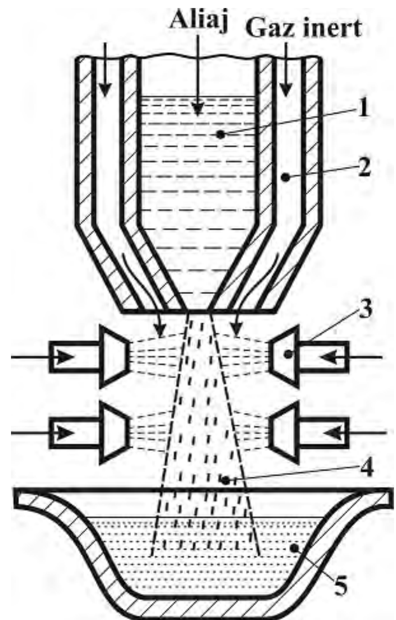


Fig.3.11. Fabricarea pulberilor din aliaje.

d) – Obținerea pulberilor (fig.3.11) se face prin curgerea aliajului din rezervorul *1*, prin antrenare cu un gaz inert din ajutajul *2* şi stropirea abundentă cu o soluție apoasă de săruri cu duzele *3*. Pulberea 4 din aliaj amorf ajunge în vasul *5*. Proprietățile aliajelor amorfe sunt total diferite de cele ale aliajelor cristaline corespunzătoare. Din punct de vedere fizic, aliajele amorfe sunt slabe conducătoare de căldură şi electricitate, au densități cu 1…2% mai mici decât cele cristaline şi un feromagnetism excepțional, magnetizându-se şi demagnetizându-se rapid.

Din punct de vedere mecanic, aliajele amorfe au o rezistență de rupere la tracțiune ridicată (dublă față de cea a titanului), o limită de elasticitate ridicată, duritate şi rezistență la uzură foarte ridicate, iar din punct de vedere chimic au o rezistență la coroziune excepțională. În ceea ce priveşte posibilitățile de prelucrare, acestea au fost prezentate mai sus, cu mențiunea că piesele sau semifabricatele se pot obține la cotele finale, fără prelucrări ulterioare. Toate aceste proprietăți determină o durată de exploatare dublă față de cea a aliajelor corespunzătoare cristaline, dar şi un preț de livrare ridicat.

Aliajele amorfe se utilizează la fabricarea miezurilor transformatoarelor electrice de putere, reducând cu 70…80% pierderile de energie, precum şi emisiile de CO_2 (aceste transformatoare sunt foarte răspândite în India şi China). Fiind foarte bune izolatoare acustice şi având proprietăți de blindare magnetică, se folosesc pentru protecția contra depistării submarinelor militare. Se mai utilizează la fabricarea comutatoarelor electrice cu frecvență mare de comutare, a seismografelor, membranelor pentru manometre, arcurilor de ceas, capetelor magnetice de înregistrare, traductoarelor de viteză, precum şi la armarea țevilor care lucrează la presiuni înalte. Fiind materiale scumpe, ele vizează şi articolele sportive de lux (rachete de tenis şi crose de hochei, golf sau base-ball) sau sectorul medical. Astfel din aliaje amorfe se confecționează instrumente chirurgicale sau piese pentru implanturi ortopedice (agrafe, tije, şuruburi) care sunt biocompatibile şi au proprietatea de a se resorbi cu 1 mm/lună, fiind înlocuite cu țesut osos.

Aliajele amorfe constituie şi punctul de plecare pentru obținerea materialelor micro sau nanocristaline cu înalte caracteristici magnetice. Aplicațiile lor se vor extinde în electronică şi telecomunicații, înlocuind magneziul, titanul şi materialele plastice.

3.3. Polimeri avansați

3.3.1. Generalități

Polimerul (din cuvintele greceşti *pollus* = multe şi *meros* = părți) este o substanță macromoleculară obținută prin polimerizare, o reacție chimică prin care substanțe nesaturate cu masă moleculară mică de aceeaşi natură (monomeri) se transformă în substanțe cu masă moleculară mare. După natura lor, polimerii pot fi *naturali* (polizaharide, protide, acizi nucleici), *artificiali* – obținuți prin modificarea chimică a unui polimer natural (acetat de celuloză, metilceluloză, galalit) sau *sintetici* – obținuți prin polimerizarea sau policondensarea unor monomeri (polistiren, poliizopren sintetic), iar după structura moleculară, există polimeri

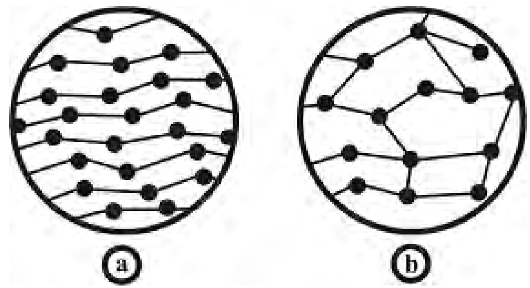


Fig. 3.12. Structura moleculară a polimerilor şi elastomerilor.

liniari, *ramificați* şi *tridimensionali*. De asemenea, după proprietățile termomecanice, există polimeri *termoplastici* care, prin încălzire, se înmoaie şi se pot prelucra, fiind şi reciclabili, polimeri *termoreactivi* care, prin acțiunea căldurii şi presiunii, se întăresc, nemaifiind reciclabili şi *elastomeri* care suportă deformări reversibile. Polimerii termoplastici au o structură moleculară liniară şi semicristalină (fig.3.12.a), alcătuită din lanțuri de atomi, în timp ce polimerii termoreactivi şi elastomerii au structuri ramificate (fig.3.12.b), cu aşezarea aleatorie a atomilor, fiind materiale amorfe.

Polimerii au apărut în perioada 1920...1940 şi au cunoscut o dezvoltare semnificativă după război, în SUA. Americanii au fost privați de război de importul cauciucului din Asia de Sud-Est, lansând un ambițios program de cercetare, vizând înlocuirea cauciucului cu produse de sinteză. Astăzi, polimerii se utilizează în toate ramurile de activitate, 75% dintre aceştia fiind reprezentați de acronitril-butadien-stiren (ABS), poliesteri (PET), policarbonați (PC) şi poliamide (PA). După gradul de răspândire şi performanțe, polimerii se pot clasifica conform structurii prezentate în fig. 3.13.

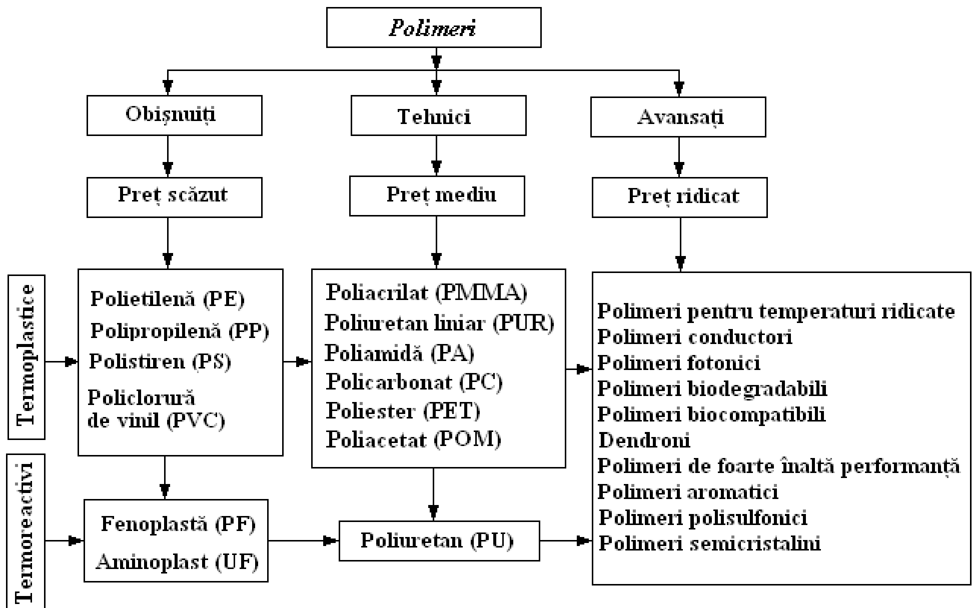


Fig. 3.13. Clasificarea polimerilor după răspândire şi performanțe.

3.3.2. Polimeri pentru temperaturi ridicate

Temperatura de utilizare a materialelor plastice obişnuite şi tehnice nu depăşeşte 70…120 ^{0}C, acesta fiind dezavantajul major al lor. În a doua jumătate a secolului trecut, laboratoarele de materiale ale aviaţiei americane au primit sarcina realizării unor polimeri cu care să se obţină materiale compozite uşoare şi cu temperaturi de utilizare de până la 300 ^{0}C, care să înlocuiască piesele metalice grele din aviaţie şi construcţiile aerospaţiale . Acelaşi lucru l-au făcut şi francezii, pentru fabricarea avionului Concorde, fiind urmaţi apoi de japonezi. Astăzi, 60% din polimerii pentru temperaturi ridicate se produc în SUA, 20% în Franţa, 10% în Japonia şi 10% în Rusia şi China. În ceea ce priveşte temperatura de utilizare, aceasta a ajuns chiar la 400 ^{0}C, pentru durate scurte de folosire.

3.3.2.1. Politetrafluoretilena (**PTFE**) este cunoscută sub denumirea comercială de *teflon* şi are formula chimică C_2F_4. Are proprietăţi remarcabile faţă de alţi polimeri termoplastici: rezistenţă remarcabilă la acţiune agenţilor chimici, un coeficient de frecare extrem de scăzut (0,05–0,1) şi se poate utiliza până la 260 ^{0}C, fără degradarea proprietăţilor (se topeşte la 327 ^{0}C). Aceste proprietăţi îi conferă o mare valoare, într-o gamă largă de întrebuinţări: substrat pentru microunde în electronică, izolator pentru cabluri de înaltă tensiune, placarea unor vase de bucătărie şi a recipientelor pentru substanţe chimice, ţesături rezistente la foc şi la acizi, piese pentru automobile. În acelaşi timp, utilizarea teflonului este limitată de următoarele inconveniente: proprietăţi mecanice slabe; la 400 ^{0}C se descompune în acid fluorhidric (corosiv) şi monomeri gazoşi; procedeele de prelucrare sunt dificile; preţ ridicat (vezi şi § 2.2.3.l).

3.3.2.2. Polifluorura de viniliden (**PVDF**) este comercializată sub denumirile de *dyflor*, *foraflon*, *kynar* sau *solef* şi are formula chimică $(C_2H_2F_2)_n$. Se poate folosi în intervalul de temperatură –50…+150 ^{0}C (se topeşte între 170–180 ^{0}C), este foarte rezistentă la acţiunea razelor ultraviolete şi a agenţilor chimici extrem de corosivi, are o alungire la rupere foarte mare (200…750%) şi prezintă proprietăţi piezo, piro şi feroelectrice. Se foloseşte în următoarele domenii: baterii litiu-ion pentru telefoanele mobile, placarea ţevilor şi a rezervoarelor pentru medii agresive, izolarea firelor şi elementelor piezoelectrice din electronică, membrane pentru electroforeze, fire de pescuit. Folosirea este însă limitată de costul ridicat.

3.3.2.3. Polisulfona (**PSU**) este un polimer termoplastic amorf cu formula chimică $[C_{18}H_{12}O_4S]_n$, care îşi păstrează proprietăţile în intervalul –100 …+800 ^{0}C, foarte rezistent la acţiunea agenţilor chimici, cu proprietăţi mecanice bune şi cu capacitate de absorbţie a şocurilor. Are următoarele utilizări: conducte pentru transportul fluidelor corosive, viziere pentru căştile pompierilor, autoclave pentru sterilizarea instrumentelor medicale, membrane pentru hemodializă (cu pori de 0,04 microni), cartuşe filtrante pentru gaze de eşapament şi ape uzate, dielectrice pentru condensatoare.

3.3.2.4. Siliconul (**SI**) este un polimer termoreactiv cu formula chimică $[Si(CH_3)_2O]_n$, stabil termic în intervalul –100…+250 ^{o}C, bun izolator electric, rezistent la acţiunea oxigenului, ozonului şi razelor ultraviolete şi cu o bună permeabilitate la gaze. Aceste proprietăţi îi conferă următoarele întrebuinţări:

etanşarea acvariilor de dimensiuni mari, protecția unor componente electronice contra şocurilor mecanice şi electrice, a radiațiilor şi vibrațiilor, panouri contra incendiilor (din spumă de silicon), lubrifiant pentru lanțurile de bicicletă, fabricarea unor geluri pentru spălarea mâinilor fără apă sau a şampoanelor pentru păr, implanturi mamare şi obiecte erotice (vezi şi § 2.2.3.c).

3.3.2.5. Poliimida (**PI**) este un polimer care poate avea atât structură semicristalină (termoplastic), cât şi structură amorfă (termoreactiv). Ultimul are proprietăți mecanice bune, este rezistent la abraziune şi la acțiunea agenților chimici şi a razelor ultraviolete, păstrându-şi proprietățile până la o temperatură de 260 ^{0}C. Aplicații: izolarea firelor subțiri ale anexelor mobile ale calculatoarelor, lipirea şi izolarea semiconductoarelor, pelicule fotosensibile, acoperiri de protecție, etanşeizări, izolații.

3.3.3. Polimeri conductori

Polimerii sunt, în general, buni izolatori electrici. Există însă şi polimeri care conduc curentul electric. Savanții Hideki Shirakawa (japonez), Alan G. MacDiarmid şi Alan J. Heeger (americani) au fost răsplătiți pentru descoperirea acestora cu Premiul Nobel pentru chimie, în anul 2000. Pentru ca un polimer să poată conduce curentul electric, el trebuie să aibă, alternativ, legături simple şi duble între atomii săi de carbon. Trebuie de asemenea să fie *dopat* , adică să-i fie luați electroni (dopaj *n* – prin oxidare) sau să-i fie dați (dopaj *p* – prin reducere). Dopajul polimerilor se deosebeşte deci de dopajul semiconductorilor pe bază de siliciu, care constă în înlocuirea unor atomi de siliciu cu anioni de fosfor sau cationi de bor, obținându-se semiconductori de tip *n* sau *p* . Doparea polimerilor duce la modificarea structurii lor moleculare, precum şi la apariția conductibilității electrice. Față de conductorii metalici, polimerii conductori sunt mai uşori, au o mare rezistență la coroziune, sunt transparenți şi au un preț mai scăzut. Polimerii conductori combină deci rezistența la oxidare şi coroziune, flexibilitatea, elasticitatea, posibilitățile uşoare de prelucrare şi costul scăzut al materialelor plastice cu conductibilitatea electrică bună a metalelor. Ca urmare, domeniile lor de aplicare sunt numeroase: stocarea şi conversia energiei, ecrane extraplate pentru televizoare, panouri solare, amplificatoare optice, ecrane de afişare pentru telefoane mobile. În viitor se vor produce tranzistoare şi alte componente electronice dintr-o singură macromoleculă de polimer conductor, ceea ce va conduce la miniaturizarea şi creşterea spectaculoasă a vitezei calculatoarelor.

Principalele tipuri de polimeri conductori sunt poliacetilena, polipirolul, politiofena, polianilina şi polivinilul de parafenilenă.

3.3.3.1. Poliacetilena (**PAC**) este un polimer organic cu formula chimică $(C_2H_2)_n$, cu o conductibilitate electrică apropiată de cea a argintului. Ea este formată dintr-un lanț de atomi de carbon, cu o alternanță de legături simple şi duble între ei, fiecare atom de carbon fiind legat şi de un atom de hidrogen. Poliacetilena s-ar putea obține prin polimerizarea acetilenei, dar procedeul este riscant, datorită faptului că acetilena este un gaz uşor inflamabil. Ca urmare, poliacetilena se obține prin polimerizarea unui derivat al ciclooctanului numit *ciclooctatetraenă* (*COT*) ,

cu formula moleculară C_8H_8.

3.3.3.2. Polipirolul (**PPy**) este de fapt un derivat al poliacetilenei, cu o foarte bună conductibilitate electrică. El se poate obține fie prin dopare chimică (oxidare catalitică), fie prin dopare electrochimică. A doua metodă, care conduce la o conductibilitate electrică mai bună, constă în sinteza electrochimică a polipirolului într-o soluție apoasă de pirol, în condiții galvanostatice. În urma electrolizei, pe catodul din aur, platină sau carbon vitros se depune o peliculă de polipirol care se desprinde foarte uşor.

Studii recente recomandă folosirea polipirolului în medicină pentru stabilirea rapidă şi exactă a conținutului de litiu din sânge, care se foloseşte pentru tratarea unei boli psihice numite tulburare bipolară.

3.3.3.3. Politiofena (**PT**) are atât o conductibilitate electrică foarte bună, cât şi capacitatea de a-şi modifica proprietățile optice (transparența şi culoarea) sub influența curentului electric sau a unor factori de mediu. Ea se obține prin polimerizarea tiofenei şi capătă proprietăți conductoare prin luarea (dopare *p*) sau adăugarea unor electroni (dopare *n*) şi se sintetizează prin metodele electrochimică sau chimică.

Aplicațiile politiofenei au la bază îmbinarea proprietăților materialelor plastice cu cele menționate mai sus: tranzistoare cu efect de câmp, componente electroluminescente, celule fotovoltaice, materiale optice neliniare, pile electrice, diode, protecția antistatică a componentelor electronice. O viitoare aplicare a politiofenei ar putea fi geamurile electrocromatice care ar împiedica transmiterea căldurii în sau din spațiile închise, devenind reflectorizante sau opace la schimbarea condițiilor de mediu. Şi aceasta la un preț scăzut.

3.3.3.4. Polianilina (**PANI**) este un polimer conductor care se obține prin polimerizarea anilinei în prezența persulfatului de amoniu, ca oxidant. Ea este mai ieftină decât ceilalți polimeri conductori şi se utilizează în electronica industrială ca blindaj electromagnetic şi protecție contra descărcărilor electrostatice. Recent a fost folosită la fabricarea cipurilor electronice (mici suprafețe de material semiconductor pe care se imprimă unul sau mai multe circuite integrate).

3.3.4. Polimeri fotonici

Polimerii fotonici, numiți şi *polimeri electroluminescenți* (*LEP*) au fost descoperiți prin anii 1960, dar şi-au găsit aplicabilitatea de abia după anul 2000, odată cu polimerii conductori. Principiul electroluminescenței polimerilor este simplu (fig. 3.14.): catodul *1* din aluminiu sau calciu, emite electroni de conducție (*n*), iar anodul transparent *2*,

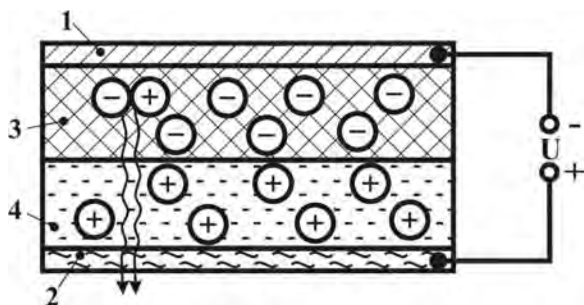


Fig. 3.14. Principiul electroluminescenței.

din oxid de indiu şi staniu, generează goluri sau vacanțe ale electronilor de valență (*p*). Electronii de conducție (*n*) pătrund în stratul emisiv *3*, din polifenilen-vinilen sau din polifluoren, iar golurile (*p*) străbat stratul conducător *4* şi având viteze mai mari ajung în stratul emisiv. Aici se recombină cu electronii de conducție, generând excitoni care emit raze luminoase. Acestea străbat anodul transparent *2*, având culori în toate domeniile spectrului, inclusiv culoarea albă. Tensiunea sursei *U* are valori scăzute (2,5…20 V). Excitonii emit atât raze luminoase (fotoni), cât şi căldură. Pentru ca emisia de raze luminoase să fie cât mai mare, polimerii semiconductori se dopează cu materiale fluorescente sau fosforescente. Grosimea totală a polimerului semiconductor dintre catod şi anod este de circa 1000 Å (10^{-4} mm).

Pe acest principiu se bazează *dioda luminescentă organică* (*OLED* **–** acronimul denumirii în limba engleză**,** *O*rganic *L*ight-*E*mitting *D*iode), brevetată în 1987 de firma Kodak şi introdusă în fabricație în anul 1997. Primele generații de diode electroluminescente (*LED* – acronimul denumirii în limba engleză, *L*ight-*E*mitting *D*iode) aveau o structură cristalină şi nu erau chiar ieftine. Cu timpul, s-a materializat ideea folosirii polimerilor semiconductori la fabricarea acestora. Diametrul unei astfel de diode nu depăşeşte 1 mm. Fiecare pixel (*picture element* = element al imaginii) de pe un ecran *OLED* este constituit din trei diode alăturate (una roşie, una verde şi alta albastră).

Diodele electroluminescente organice au un consum redus de energie, o redare foarte bună a culorilor, un contrast foarte bun (până la 1.000.000:1), o lumină mai difuză, un timp de răspuns foarte scurt (sub 0,1 ms) şi un proces de fabricație relativ simplu. Ca dezavantaje se menționează durata scurtă de funcționare (14.000 ore pentru cele albastre), sensibilitatea la umezeală şi monopolizarea dreptului de fabricație de către firmele care le-au brevetat (Eastman Kodak, DuPont, General Electric şi Royal Philips Electronics).

Ca domenii de aplicare se menționează: ecrane pentru telefoane mobile, aparate foto numerice, ecrane plate de dimensiuni mari (*home-cinema*), afişaje *head up display* pentru comanda avioanelor şi automobilelor, iluminare discretă ambientală sau diverse gadgeturi (veşminte, panglici, stilouri sau brelocuri luminoase). În ceea ce priveşte utilizarea lor pentru produse cu durată mai lungă de funcționare (monitoare de televizoare şi calculatoare), aceasta rămâne o problemă de rezolvat pentru viitor.

O altă tehnologie ce pare inspirată din literatura science-fiction este tehnologia displayurilor polimerice (*LEP* – *L*ight-*E*mitting *P*olymers) care este pe cale de a înlocui monitoarele cu cristale lichide (*LCD* – *L*iquid *C*rystal *D*isplay). Displayul polimeric (fig.3.15) este alcătuit din substratul transparent *1* pe care se află anodul transparent *2* , din oxid de indiu şi staniu şi din catodul *3* , din aluminiu sau calciu. Între cei doi electrozi se află stratul de polimer semiconductor *4* (polivinilcarbazol, politiofenă, polifluoren). Electronii de conducție *n* , cu sarcini negative, se recombină cu golurile *p* , încărcate cu sarcini pozitive, în stratul de polimer, generând raze luminoase, în toate domeniile spectrului. După cum am mai menționat, acest fenomen se numeşte *electroluminescență*.

Față de ecranele *LCD*, displayurile *LEP* au următoarele avantaje : luminozi-

tatea este de 10 ori mai mare ca a lămpilor fluorescente obişnuite (100.000 cd/m^2); contrast foarte bun şi o definiție mai bună a scenelor întunecoase; calitatea imaginii este excepțională; greutate redusă; posibilitatea obținerii unor ecrane extraplate; consum redus de energie.

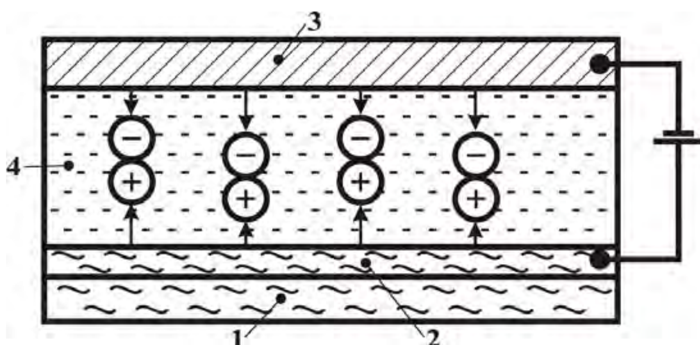


Fig. 3.15. Structura displayului *LEP*.

Displayurile polimerice pot fi rigide sau flexibile, iar domeniile de aplicare sunt foarte vaste, de la aparate mici (ceasuri sau telefoane mobile), până la monitoare obişnuite şi panouri imense de afişaj. Ele ar putea înlocui aparatele de bord ale automobilelor sau avioanelor, montarea lor fiind posibilă pe orice tip de suprafață (monitoare, pereții casei, blatul mesei). Ca urmare, totul va fi posibil: laptopuri ce se pot împacheta, displayuri ce se pot rula, tapete sau draperii electroluminescente sau jurnale electronice.

În literatura de specialitate au apărut deja sintagmele de *cerneală electronică* (e-ink) şi *hârtie electronică* (e-paper) care imită textul şi imaginile clasice, acestea putând fi stocate oricât, fără procesări suplimentare şi consum de energie electrică.

3.3.5. Polimeri biodegradabili

3.3.5.1. Generalități. Materialele plastice tradiționale prezintă un dezavantaj major din punctul de vedere al protecției mediului: o pungă de plastic abandonată în sol are nevoie de 200 de ani pentru a se degrada total. Înlăturarea prin ardere a acestor materiale, pentru a produce energie, produce poluare, datorită halogenilor şi sulfului care se degajă în atmosferă, iar reciclarea lor ridică probleme de triere şi de neutralizare a deşeurilor rezultate. Ca urmare, utilizarea unor polimeri tradiționali începe să fie interzisă în unele țări dezvoltate. Astfel, în Olanda este interzisă folosirea policlorurii de vinil în serele legumicole sau horticole, iar în Franța, la îmbutelierea apelor minerale. Aceste cerințe au determinat cercetătorii să se orienteze spre crearea materialelor plastice biodegradabile.

Materialele biodegradabile sunt supuse unui proces de descompunere, rezultând bioxid de carbon, metan, apă şi alte produse organice, sub acțiunea enzimatică a unor microorganisme. După natura lor, aceste materiale sunt de

origine petrochimică sau naturală.

3.3.5.2. Polimeri biodegradabili de origine petrochimică. Primele cercetări pentru realizarea lor au fost întreprinse prin anii 1970, constând în asocierea polietilenei cu amidon sau celuloză. Prin introducerea unei cantități de 10% amidon într-o matrice de polietilenă, la care se mai adaugă 1 % catalizatori care să provoace ruperea lanțurilor chimice şi consumarea amidonului de către nişte microorganisme, se realizează degradarea biologică a materialului plastic. Procedeul s-a utilizat la fabricarea foliilor de polietilenă pentru protecția răsadurilor agricole sau pentru pungi şi ambalaje, astăzi fiind abandonat.

Recent, s-a realizat o nouă familie de polimeri biodegradabili care conțin carbamați de fier, nichel şi mangan sau stearat de nichel, ca agenți oxidanți. Ecologiştii sunt foarte circumspecți cu privire la aceşti oxidanți, întrucât ei realizează de fapt o fragmentare şi nu o biodegradare a polimerilor, iar metalele care provin din sărurile menționate vor polua ele însele mediul înconjurător.

Ultimele cercetări vizează obținerea unor materiale biodegradabile, prin diverse procedee, pornind de la polimerii de origine petrochimică: polimeri alifatici (policaprolactama, politetrametilenul), poliesteri şi polimeri vinilici. Materialele obținute corespund normelor de protecție a mediului, dar sunt scumpe.

3.3.5.3. Polimerii biodegradabili de origine naturală sunt substanțe sintetizate prin procese biologice sau pe cale chimică, plecând de la monomeri naturali. Din această categorie fac parte biopolimerii, polimerii de origine bacteriană şi polimerii sintetici.

a) – Biopolimerii (***polimerii naturali***) sunt de origine vegetală şi animală sau sunt produşi de microorganisme. Cea mai importantă familie de polimeri naturali este cea a polizaharidelor , din care fac parte amidonul (provenit din cartofi, grâu şi porumb), celuloza şi lignina. O altă familie este alcătuită din proteinele provenite din plantele oleaginoase (rapiță , floarea soarelui, soia, mazăre, bob), din tărâțe de cereale (gluten de grâu), din țesuturi de animale (colagen, gelatină) sau din lapte de vacă (cazeină). Tot din această categorie face parte cauciucul natural.

b) – Polimerii de origine bacteriană sunt produşi de anumite bacterii care îi acumulează în citoplasmă, prin fermentare. Ca materii prime fermentabile se utilizează zaharurile şi amidonul, iar ca polimeri de origine bacteriană se menționează polihidroxibutiratul (PHB), polihidroxivaleratul (PHV) şi copolimerul de polihidroxibutirat şi polihidroxivalerat (PHBV). Aceşti polimeri sunt considerați semibiosintetici. Ei se pot obține şi din unele plante modificate genetic, caz în care sunt numiți biosintetici.

c) – Polimerii sintetici se obțin prin polimerizarea unor monomeri naturali, cel mai cunoscut fiind polilactida (PLA) care se obține prin fermentarea bacteriană a acidului lactic. Tot din această categorie fac parte polihidroxialcanoații (PHA) care sunt poliesteri ai hidroxiacizilor alifatici, policaprolactona (PCL) şi poliglicolida (PGA). Proprietățile mecanice se pot îmbunătăți prin combinarea acestor polimeri, obținându-se copolimeri.

Degradarea lor se face în prezența apei, printr-o reacție chimică de

hidroliză care rupe lanţurile de polimeri, punând în libertate hidroxiacizii componenţi, aceştia neprezentând nici un pericol pentru mediul înconjurător. Ca o curiozitate, degradarea începe de la interior către exterior (degradare eterogenă) şi se manifestă mai intens în cazul obiectelor masive.

3.3.5.4. Aplicaţii şi perspective. Producţia mondială de polimeri biodegradabili este de circa 1 milion t/an, estimându-se la 5 milioane t/an, în 2020. Ei sunt de 2…10 ori mai scumpi decât cei tradiţionali şi de aceea obligativitatea folosirii lor nu a fost încă legiferată niciunde în lume.

În ceea ce priveşte domeniile de aplicare, se menţionează: saci pentru colectarea deşeurilor organice, pungi pentru cumpărături (obligatorii în ţările Europei de Nord), ambalaje industriale, folii pentru protecţia răsadurilor în agricultură, horticultură şi pepiniere silvice, casete pentru comercializarea fructelor, legumelor şi produselor de panificaţie şi patiserie.

3.3.6. Polimeri biocompatibili

Polimerii biocompatibili (biopolimerii) sunt polimeri prezenţi în organismele vii (animale, plante, alge) sau polimeri sintetici de origine naturală (PLA, PHA, PHB, PHV, PHBV, PCL, PGA). Ei nu sunt respinşi de corpul uman şi, în general, sunt biodegradabili. Mulţi polimeri sintetici de origine naturală se obţin printr-un proces de fermentaţie bacteriană, utilizând substraturi regenerabile de carbon, glucide şi lipide. Există câteva sute de tipuri de bacterii care acumulează în celule polimeri naturali din mediile de cultură, polimerii putând ajunge la 80% din masa celulară uscată. Ei sunt apoi extraşi din celulele uscate prin disoluţie cu solvenţi organici şi apoi prin precipitare în metanol sau etanol. În funcţie de tipul bacteriilor şi de condiţiile de dezvoltare a acestora în bioreactoare, se pot obţine biopolimeri hidrofobi (care nu se combină cu apa), casanţi, elastici sau cleioşi.

Aplicaţiile polimerilor biocompatibili se regăsesc îndeosebi în medicină şi în industria farmaceutică. Ei trebuie să aibă o rezistenţă chimică înaltă, să suporte sterilizări multiple (cu aburi, oxid de etilenă sau raze γ), fără a-şi înrăutăţi proprietăţile mecanice şi biocompatibilitatea şi să permită explorările cu raze X sau prin rezonanţă magnetică nucleară (RMN), fără a produce artefacte (imagini false în preparatele histologice). De asemenea, trebuie să aibă proprietăţi mecanice foarte bune, îndeosebi rigiditate, rezistenţă la rupere şi durabilitate.

Un domeniu de mare interes pentru folosirea polimerilor biocompatibili este eliberarea controlată a unor medicamente în corpul uman. Aceasta se poate realiza în trei moduri: medicamentul este înglobat într-un miez protejat de o membrană de polimer prin care este difuzat în corpul uman într-un interval mai lung de timp (fig. 3.16.a); medicamentul este înglobat într-o capsulă monolitică din polimer inert care se va degrada în timp, fără efecte nocive asupra organismului (fig. 3.16.b); medicamentul este înglobat într-un polimer biodegradabil care dispare odată cu distribuirea principiului activ în organism (fig. 3.16.c).

Biopolimerii se mai utilizează în chirurgia reconstructivă: grefe vasculare de diametre mari (polietilenă tereftalată), placarea stenturilor metalice pentru lărgirea arterelor în scopul evitării respingerii lor de către organism, suturi,

dispozitive de fixare ortopedice, proteze, cimenturi uşoare (facilitează osificarea, combinându-se cu fosfatul de calciu).

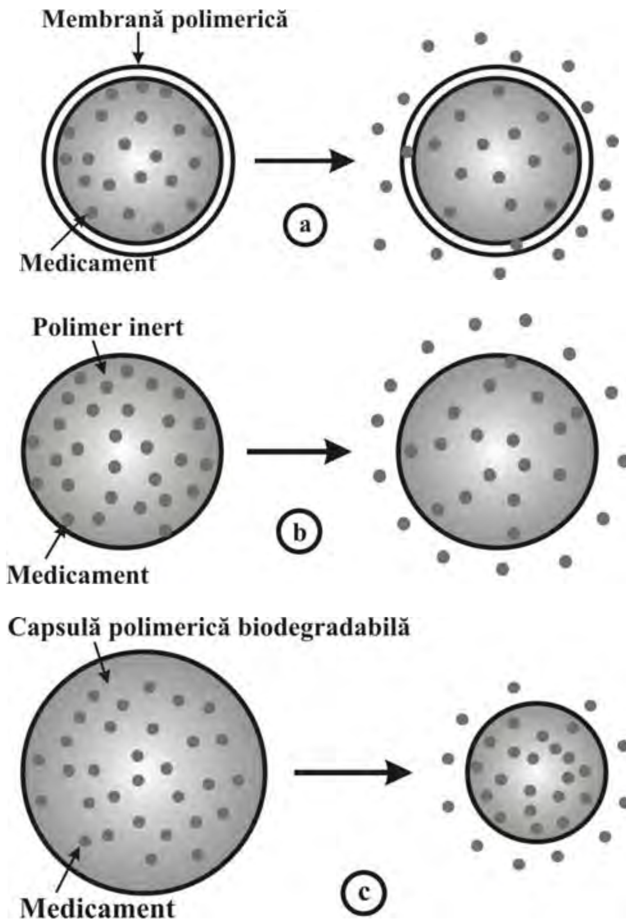


Fig. 3.16. Administrarea controlată a medicamentelor capsulate cu polimeri biodegradabili.

Odată implantat, un dispozitiv biodegradabil trebuie să-şi menţină proprietăţile mecanice până când el nu mai este necesar şi apoi să fie absorbit de organism, fără a lăsa nici o urmă. Resorbţia polimerului se face prin hidroliză, apa fragmentând lanţurile acestuia care sunt apoi metabolizate şi înlăturate din organism.

3.3.7.Dendrimeri

Dendrimerii sunt macromolecule constituite din monomeri care se asociază sub formă arborescentă, în jurul unui nucleu central multifuncţional, denumirea lor provenind de la cuvântul grecesc *dendron* = arbore. Arhitectura dendritică este

foarte răspândită în natură, întâlnindu-se atât în sistemele nebiologice (cristale de zăpadă, eroziuni fractale), cât şi în cele biologice (neuroni, sisteme vasculare, ramificaţiile bronhiilor şi bronhiolelor, arbori) şi având dimensiuni mari (arbori), mici (ciuperci) şi foarte mici (neuroni).

Dendrimerii au o structură tridimensională, în general de formă globulară (fig.3.17), fiind caracterizaţi de un nucleu central, de care se leagă mai mulţi monomeri de acelaşi fel care formează generaţia zero (G_o). În mod similar se formează generaţiile G_1, G_2 etc., până la generaţia periferică (fig.3.18). Diametrul dendrimerului nu depăşeşte câţiva nanometri (1nm = 10^{-9} m). Există două metode pentru sinteza dendrimerilor: *metoda divergentă* care constă în asamblarea monomerilor de la nucleu către periferie şi *metoda convergentă* care constă în sinteza dendrimerului de la periferie spre nucleu, cu ajutorul unor fragmente dendritice numite *dendroni*. Ambele metode sunt foarte dificile, astfel că există puţine firme în lume care pot să producă dendrimeri.

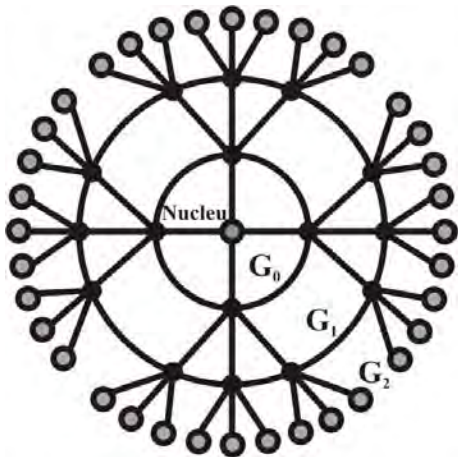


Fig. 3.17. Reprezentarea schematică a unui dendrimer.

Generaţia	G_0	G_1	G_2	G_3	G_4
Numărul monomerilor	3	6	12	24	48
Diametrul [nm]	1,4	1,9	2,6	3,6	4,4
Reprezentarea grafică					

Fig. 3.18. Schema formării unui dendrimer.

Dendrimerii sunt polimeri multifuncţionali cu proprietăţi particulare de solubilitate, vâscozitate şi stabilitate termică. Un dendrimer poate avea stratul periferic hidrosolubil (care se dizolvă în apă) şi nucleul hidrofob (care nu se combină cu apa), pe această proprietate bazându-se transportul unor medicamente, prin sânge, până la obiectivele-ţintă din organism. De asemenea, există dendrimeri

polari/nepolari, având în componență atât monomeri organici, cât şi atomi metalici care se comportă diferit în medii diferite. În interiorul dendrimerilor există cavități care pot transporta gene (elemente ale cromozomilor care determină transmiterea şi manifestarea unor caractere ereditare) sau produse anticanceroase în interiorul corpului uman.

Prin grefarea unor metale (Rh, Ru, Pd, Pt, Au, Fe) la suprafața dendrimerului sau în cavitățile sale interioare se obțin *metalodendrimeri* care se folosesc drept catalizatori în reacțiile de cataliză (acțiune prin care se grăbeşte sau se încetineşte o reacție chimică). După efectuarea reacției, metalele catalizatoare se recuperează printr-o filtrare fină.

Dendrimerii contribuie la dezvoltarea sistemelor moleculare organizate, prin joncțiunea biologiei moleculare cu fizica mediilor condensate şi cu chimia supramoleculară. Fluidele complexe, cum sunt cristalele lichide şi soluțiile micelare (grup sau agregat de molecule care se formează în substanțele coloidale) se bazează, în mare, pe dendrimeri. De asemenea, ei intră în componența substanțelor tensioactive (substanțe care pot modifica tensiunea superficială a unui lichid), datorită afinității lor pentru două medii diferite. O parte a macromoleculei este polară (cationică, anionică sau amfoterică), iar cealaltă, nepolară (lanț alifatic sau aromatic). Substanțele tensioactive se folosesc la fabricarea detergenților şi cosmeticelor.

Ca domenii de aplicație ale dendrimerilor se menționează: diagnosticare şi terapeutică în medicină (prevenirea infecțiilor cu viruşi şi bacterii, terapie anticancer, agenți de contrast în imagerie, eliberarea lentă şi controlată a medicamentelor în organism), electrocromatică, fotocromatică, piezoelectricitate, tribologie, holografie, membrane şi filtre pentru separarea şi purificarea gazelor.

Studiul dendrimerilor va cunoaşte, în următorii ani, un avânt considerabil, având în vedere performanțele excepționale ale lor, legate de structură, flexibilitate, porozitate şi obținerea altor proprietăți dorite. Ei constituie o grupă aparte de materiale avansate, aflată la zona de contact dintre chimie, industria medicamentelor, biologie, medicină şi nanoştiințe.

3.3.8. Alte tipuri de polimeri avansați

3.3.8.1. Polimerii de foarte înaltă performanță pot fi prelucrați prin diverse procedee tehnologice (turnare, extrudare, aşchiere) şi se folosesc în aeronautică, electronică, precum şi la fabricarea unor instrumente medicale, combinând rezistența excepțională la uzură cu robustețea, stabilitatea termică şi dimensională şi rezistența la acțiunea agenților chimici. Aceşti polimeri sunt folosiți, în egală măsură, la fabricarea semiconductoarelor, carcaselor şi soclurilor pentru verificarea circuitelor imprimate.

a) – Polieteretercetona (***PEEK***) este un polimer semicristalin, uşor de prelucrat, cu o rezistență excepțională la acțiunea agenților chimici şi cu proprietăți mecanice foarte bune până la 300 ^{0}C . Se utilizează pentru confecționarea unor piese rezistente la uzură din domeniul medical sau al construcțiilor de maşini. Principalul ei dezavantaj este prețul ridicat, drept pentru care a fost obținută o

variantă modificată a acestui produs, cu proprietăţi ceva mai slabe, dar şi cu un preţ acceptabil.

b) – Polifenilenul autoranforsat (***SRP***) este un polimer transparent şi amorf, cu rezistenţă la compresiune, rigiditate şi duritate excepţionale, putând înlocui, în multe cazuri, materialele metalice şi compozite. De asemenea, rezistă la acţiunea agenţilor chimici, la foc şi la ablaţiune (fenomen fizic prin care un corp care intră cu mare viteză în atmosferă pierde din substanţă datorită încălzirii prin frecare cu aerul).

c) – Sulfona de înaltă temperatură (***HTS***) este un polimer transparent şi amorf care nu îşi modifică rezistenţa, rigiditatea, fluajul şi stabilitatea dimensională până la temperatura de 265 ^{0}C. Se utilizează pentru izolarea cablurilor şi motoarelor electrice, precum şi în electronică şi în industriile de petrol şi gaze.

d) – Poliamida-imidă (***PAI***) are cea mai bună rezistenţă la rupere şi cea mai bună rigiditate până la 275 ^{0}C dintre toate termoplastele. La acestea se mai adaugă rezistenţa la uzură, fluajul şi rezistenţa la majoritatea agenţilor chimici – toate, foarte bune.

3.3.8.2.Polimerii aromatici se prelucrează prin injecţie, extrudare şi sudare, având excelente proprietăţi de rezistenţă, rigiditate şi rezilienţă. Se utilizează la fabricarea unor piese din industriile aeronautică şi de automobile şi se folosesc ca matrice la realizarea unor compozite armate cu particule ceramice sau cu fibre de sticlă.

a) – Poliftalamida (***PPA***) este un polimer pentru temperaturi ridicate (280^{0}C), cu proprietăţi mecanice foarte bune (rezistenţă la rupere, rigiditate, rezistenţă la oboseală, fluaj), cu o excelentă rezistenţă chimică şi cu o slabă absorbţie a umidităţii. Se utilizează la confecţionarea unor piese pentru automobile, a unor bunuri de consum, precum şi a unor echipamente electrice şi electronice (contactoare, comutatoare, disjunctoare, condensatoare).

b) – Poliarilamida (***PARA***) îmbină rigiditatea excepţională cu aspectul impecabil al suprafeţei, precum şi higroscopicitatea redusă cu o fluiditate foarte bună. Rezistenţa de rupere la tracţiune şi coeficientul de dilatare termică se apropie de cele ale materialelor metalice. Aceste proprietăţi o recomandă în construcţiile de automobile şi în fabricarea unor bunuri de consum şi a unor echipamente pentru electrotehnică şi electronică.

3.3.8.3. Polimerii polisulfonici sunt polimeri amorfi şi transparenţi care îşi păstrează proprietăţile şi în condiţii dificile de mediu. Sunt rezistenţi la acţiunea apei, a produselor chimice şi căldurii (–100….+200 ^{0}C) şi se prelucrează prin injecţie, extrudare, presare şi sudare cu ultrasunete. Se folosesc la fabricarea unor aparate şi instrumente medicale, a unor piese de automobile, precum şi a membranelor pentru hemodializă sau pentru purificarea apelor.

a) – Polisulfona (***PSU***) **–** vezi § 3.3.2.3.

b) – Polifenilsulfona (***PPSU***) este transparentă, are o rezistenţă bună, este rezistentă la acţiunea agenţilor chimici şi a apei şi se poate utiliza până la 207 ^{0}C. De asemenea , suportă numeroase cicluri de sterilizări în etuvă, fără a-şi pierde proprietăţile. Aceste caracteristici o recomandă pentru fabricarea unor aparate şi

instrumente medicale (truse şi cofrete pentru ortopedie şi stomatologie), precum şi pentru construcţia cabinelor avioanelor civile.

c) – Polietersulfona (***PES***) este transparentă, are o rezistenţă chimică excepţională, se poate utiliza până la 204 ^{0}C şi se foloseşte la fabricarea membranelor pentru purificarea apei şi pentru hemodializă. Prin ignifugare, se poate utiliza la fabricarea unor componente electronice şi a dispozitivelor de încercare a acestora.

d) – Polisulfona modificată (***PSU***) combină proprietăţile polisulfonei cu un preţ mai scăzut. Având caracteristici electrice favorabile şi o bună turnabilitate, se foloseşte la turnarea unor piese pentru automobile (faruri de mers şi de ceaţă, semnalizatoare) sau a carcaselor unor echipamente electronice.

e) – Polifenilsulfona modificată (***PPSU***) este o polifenilsulfonă opacă, având o bună rezistenţă chimică, stabilitate dimensională, higroscopicitate redusă şi anduranţă ridicată, la un preţ mai scăzut.

3.3.8.4. Polimerii semicristalini sunt foarte fluizi şi se pot utiliza până la 300 ^{0}C, îndeosebi în construcţia de automobile.

a) – Polisulfura de fenilen (***PPS***) este un material extrem de fluid şi total ignifug, cu o bună stabilitate dimensională şi cu higroscopicitate foarte scăzută. Are o rezistenţă ridicată la acţiunea agenţilor chimici şi se foloseşte în construcţia de automobile, în electronică, electrotehnică şi industria chimică.

b) – Polimerii cu cristale lichide (***LCP***) sunt de asemenea foarte fluizi, total ignifugi şi cu o rezistenţă mecanică foarte bună, putându-le folosi până la 300^{0}C. Au o rezistenţă mare la acţiunea agenţilor chimici şi se folosesc la confecţionarea unor componente electrice şi electronice pentru automobile.

În tabelul 3.2 se prezintă principalele domenii de utilizare a polimerilor avansaţi.

3.4. Ceramice avansate

3.4.1. Generalităţi

În ultima jumătate de secol s-a dezvoltat o nouă categorie de produse ceramice, şi anume *ceramica industrială* , care ar putea fi inclusă aproape în întregime în clasa materialelor avansate. Materialele ceramice industriale au proprietăţi indispensabile dezvoltării tehnologiilor de vârf: rezistenţe la uzură, la temperatură şi la acţiunea agenţilor chimici, duritate, stabilitate dimensională şi posibilităţi de prelucrare rapidă în piese, precum şi proprietăţi electrice, magnetice, optice, supraconductoare, termice, termomecanice, biomedicale, nucleare sau militare (tabelul 3.3).

Ceramica industrială cuprinde mai multe familii de materiale: oxizi, carburi, nitruri, borúri, siliciúri, sulfuri, halogenúri, precum şi ceramice complexe. Fiecare familie de materiale ceramice are proprietăţi specifice care o recomandă domeniilor care reclamă aceste proprietăţi. În funcţie de domeniile de aplicare, materialele ceramice pot fi funcţionale şi structurale.

Tabelul 3.2. **Domenii de utilizare a polimerilor avansaţi**

Domeniul de aplicare	Denumirea polimerului													
	Polimeri de foarte înaltă performanţă					Polimeri aromatici		Polimeri polisulfonici					Polimeri semicristalini	
	Polieteretercetonă (PEEK)	Polieteretercetonă modificată (PEEK)	Polifenilen autoranforsat (SRP)	Sulfonă de înaltă temperatură (HTS)	Poliamidă-imidă (PAI)	Poliftalamidă (PPA)	Poliarilamidă (PARA)	Polisulfonă (PSU)	Polifenilsulfonă (PPSU)	Polietersulfonă (PES)	Polisulfonă modificată (PSU)	Polifenilsulfonă modif. (PPSU)	Polisulfură de fenilen (PPS)	Polimer cu cristale lichide (LCP)
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Aeronautică														
Cabine pentru avioane									•			•		
Echipamente şi accesorii	•	•	•		•									
Componente mecanice	•	•	•		•									
Alimentaţie publică														
Pahare pentru băuturi calde								•	•			•		
Veselă de unică folosinţă								•	•			•		•
Automobile	•	•	•		•									
Admisia aerului						•	•			•	•		•	
Şasiu şi structură					•	•	•						•	
Electrice şi electronice	•	•		•		•	•	•		•	•		•	•
Sisteme de carburaţie						•	•	•	•	•			•	
Încălzire şi climatizare						•							•	
Sisteme de iluminat						•	•	•		•	•		•	•
Motor şi transmisie	•				•	•	•						•	•

Tabelul 3.2 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bunuri de consum														
Accesorii de bucătărie						•		•	•	•				•
Mobilier							•							
Electrocasnice						•	•							
Obiecte de grădinărit şi scule electrice						•	•							
Echipamente pentru petrol şi gaze	•	•		•	•	•								
Electronice														
Diode electroluminescente						•								•
Circuite integrate						•								
Aparatură portabilă							•							•
Dispozitive pe bază de semiconductoare	•	•	•	•	•					•				
Electrotehnice														
Contactoare, comuta-toare şi disjunctoare						•	•			•	•		•	
Componente pentru mo-toare electrice				•	•	•	•						•	•
Izolatoare pentru cabluri electrice	•	•		•					•	•				

Tabelul 3.2 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Materiale medicale														
Cofrete şi orteze ortopedice	•	•							•					
Instrumente medicale	•	•	•				•	•	•					
Aparate instrumente şi cofrete de stomatologie	•	•	•				•	•	•					
Membrane														
Purificarea apei								•		•				
Reciclarea apelor uzate								•		•				
Hemodializă								•		•				
Piese rezistente la uzură														
Colivii de rulmenţi	•	•			•	•								
Roţi dinţate	•	•			•									
Rulmenţi axiali	•	•			•									
Garnituri	•	•			•									
Inele pentru rulmenţi axiali	•	•			•									
Placări, compozite şi adezivi	•		•	•	•	•			•	•			•	•
Reţele de apă şi gaze														
Componente pentru robinete subterane						•	•	•						
Racorduri, distribuitoare								•	•			•		

Tabelul 3.3. **Proprietățile şi aplicațiile materialelor ceramice**

Proprietăți	**Aplicații**	**Compoziție**
Electrice	Izolant(substraturi electronice)	Al_2O_3, BeO, AlN
Electronice	Feroelectricitate (condensatoare)	$BaTiO_3$, $SrTiO_3$
	Piezoelectricitate (filtre, traductoare)	$PbZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$
	Semiconductoare (termistori, varistoare)	$BaTiO_3$,SiC, ZnO
	Conductivitate ionică (sonde de oxigen)	ZrO_2
	Conductibilitate electrică	ReO_2, ReO_3, Cr_2O_3, TiO_2, V_2O_5
	Supraconductibilitate	$YBa_2Cu_3O_7$, $Hg_{0,8}$ $Tl_{0,2}Ba_2Ca_2Cu_3O_{8,33}$
Magnetice	Ferite moi (capete de înregistrare magnetică şi captoare)	$MgZnFe_2O_4$, $Li_{0,5}Fe_{2,5}O_4$
	Ferite dure (magneți, unități de memorie)	$Nd_2Fe_{14}B$, $SmCo_5$
	Benzi şi discuri magnetice	CrO_2
Chimice	Detectoare de gaz	ZnO, Fe_2O_3, SnO_2
	Catalizatoare	Cordierită, Zeolit
	Microfiltre şi membrane	Al_2O_3, ZrO_2
Termice	Refractaritate (radiatoare)	ZrO_2, TiO_2, $ZrSiO_4$
	Refractaritate (schimbătoare de căldură)	SiC
Mecanice	Rezistență mecanică (scule aşchietoare, filiere)	Carburi metalice sinterizate;Materiale mineralo-ceramice
	Rezistență la uzură şi la frecare (garnituri de etanşare, lagăre, rulmenți)	Al_2O_3, ZrO_2, Si_3N_4, SiC, B_4C
	Rezistență la abraziune	SiO_2, Al_2O_3, SiC
Termomecanice	Rezistență la rupere la temperaturi ridicate (turbine, motoare, duze, supape, conducte)	Al_2O_3, ZrO_2, Si_3N_4, SiC, compozite
Optice	Reflexie optică	TiO_2
	Iluminare şi ferestre de transmisie pentru radiatoare	Mullit , Al_2O_3
	Detecție	SeZn, SZn
	Laser	Y_2O_3/ThO_2 compozit)
	Luminescență	Oxizi ai pământurilor rare
Biomedicale	Biocompatibilitate (cimenturi,proteze dentare şi articulare)	Al_2O_3, $Ca_3(PO_4)_2$, ZrO_2
	Biocompatibilitate (implanturi osoase)	$Ca_{10}(PO_4)_6$ $(OH)_2$
Nucleare	Combustibili	UO_2, PuO_2, UO_3/PuO_3 (compozit)
	Protecție	Al_2O_3, B_4C, SiC
	Dispozitive de control	B_4C, EuO_2, Gd_2O_3, BN
Militare	Rezistență la şoc (blindaje, ecrane termice,	Al_2O_3, SiC

	detecţie)	

3.4.2. Materiale ceramice funcţionale

Materialele ceramice funcţionale cuprind îndeosebi ceramicele utilizate în electronică şi electrotehnică, reprezentând circa 70% din volumul total al materialelor ceramice. Ele pot fi izolatoare, semiconductoare, conductoare, supraconductoare, având şi proprietăţi piezoelectrice sau magnetice.

3.4.2.1. Ceramica dielectrică obişnuită cuprinde izolatorii electrici şi condensatoarele ceramice. Acestea nu au electroni liberi care să permită circulaţia curentului electric şi se obţin din feldspat, cuarţ, caolin şi hidrosilicaţi de aluminiu şi magneziu.

Alegerea ceramicii destinate fabricării izolatorilor trebuie să ţină seama de tensiunea aplicată şi de frecvenţă. Izolatorii pentru curent continuu trebuie să aibă rezistivitate electrică ridicată, coeficient de dilatare scăzut şi rezistenţă la şoc termic şi se confecţionează dintr-un amestec de Al_2O_3-SiO_2-MgO. Ei se folosesc în aparatele electrice sau la fabricarea bujiilor motoarelor cu benzină, precum şi la liniile de contact în tracţiunea electrică (locomotive, tramvaie, troleibuze).

Izolatorii pentru frecvenţe înalte trebuie să aibă o constantă dielectrică ridicată şi un unghi de pierdere cât mai mic, fiind confecţionaţi din argilă densă de înaltă puritate, din steatit (3MgO-4SiO_2-H_2O) şi cordierită (2MgO-2Al_2O_3-5SiO_2). Ei se folosesc la construcţia antenelor de emisie pentru radio şi televiziune care sunt alimentate cu frecvenţe foarte înalte şi trebuie bine izolate faţă de pământ, precum şi a laserelor de putere şi cuptoarelor cu microunde.

Condensatorul este un aparat electric alcătuit din două conductoare (armături) separate de un strat izolator care înmagazinează sarcini electrice. Pentru a înmagazina cât mai multă energie într-un spaţiu restrâns, materialele folosite la fabricarea condensatoarelor trebuie să aibă permitivitate electrică ridicată (ε_r >15), factor de disipare foarte scăzut (tg $\delta < 10^{-3}$) şi rigiditate electrică mare (E_d=10…20 kV/mm). În acest sens se folosesc perovskitele (titanaţi de Ba, Ca, Sr, Pb şi Zr).

3.4.2.2 Ceramicele cu constantă dielectrică ridicată se utilizează îndeosebi la fabricarea condensatoarelor pentru decuplarea circuitelor integrate (U<500 V, f = 1…100 MHz) şi au un factor de disipare ceva mai mare decât precedentele (tg $\delta < 4\cdot10^{-3}$). Aceste condensatoare sunt formate din straturi succesive de armături metalice şi materiale ceramice (condensatoare ceramice multistrat), straturile ceramice fiind alcătuite din titanat de bariu ($BaTiO_3$) , fiecare având grosimea de circa 30 μm.

3.4.2.3. Ceramica piezoelectrică are o constantă dielectrică foarte ridicată şi se caracterizează prin proprietatea de generare a unui impuls electric sub acţiunea unei deformări mecanice (efect piezoelectric direct) sau de a se deforma sub acţiunea unui câmp electric exterior (efect piezoelectric invers). Ca materiale piezoelectrice se utilizează cuarţul, $BaTiO_3$, $PbTiO_3$, $PbTiO_3\cdot PbZrO_3$, $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3\cdot PbTiO_3\cdot PbZrO_3$, $Pb(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3\cdot PbTiO_3\cdot PbZrO_3$, $Na_{0,5}K_{0,5}NbO_3$, $Pb_{0,6}Ba_{0,4}Nb_2O_6$.

Ceramica piezoelectrică se utilizează la fabricarea generatoarelor de ultra-

sunete, a motoarelor piezoelectrice, generatoarelor de sudare cu ultrasunete, microfoanelor şi filtrelor trece-bandă dispersive sau nedispersive. Traductoarele ultrasonore pentru detectarea submarinelor sau aparatele pentru controlul nedistructiv al metalelor cu ultrasunete se bazează pe efectul piezoelectric invers şi se construiesc dintr-un amestec de $Pb\text{-}ZrO_2\text{-}TiO_2$, iar banalele aprinzătoare de gaz produc scântei atunci când sunt deformate, bazându-se pe efectul piezoelectric direct.

3.4.2.4. Ceramica semiconductoare este destinată fabricării termistorilor şi varistoarelor (vezi § 2.3.2.3.b).

3.4.2.5. Ceramica feromagnetică este reprezentată de feritele moi şi feritele dure (vezi § 2.3.2.3.b), existând cel puțin trei motive pentru folosirea ei: rezistivitatea electrică este de cel puțin o mie de ori mai mare ca la metale; masa volumică este de circa trei ori mai mică; prețul este mai scăzut.

În tabelul 3.4. sunt prezentate principalele proprietăți şi domenii de aplicare ale materialelor ceramice funcționale.

3.4.3. Materiale ceramice structurale

Materialele ceramice structurale reprezintă circa 30% din totalitatea ceramicelor industriale şi au cunoscut o dezvoltare mare, în ultimii ani, datorită unor proprietăți favorabile: refractaritate ridicată, rezistență la şocuri termice, rezistență mecanică, duritate, rezistență la uzură şi biocompatibilitate.

3.4.3.1. Ceramica pentru temperaturi joase se poate utiliza până la 500 °C , având numeroase aplicații.

a) – Conductele de canalizare se folosesc pentru evacuarea apelor uzate, prin înlocuirea celor din beton. Ele se confecționează din gresie vitrificată care se obține din argilă de calitate superioară, amestecată cu 30…40% praf de şamotă. Amestecul este extrudat în vid, obținându-se țevi şi manşoane de legătură care sunt uscate la 100 ^{0}C, timp de 7…9 zile. Urmează apoi o glazurare şi o ardere într-un cuptor-tunel, la 1.120 ^{0}C, timp de trei zile.

Aceste conducte au rezistențe la uzură şi la acțiunea agenților chimici excepționale. Datorită rugozității scăzute, nu se colmatează, iar poluarea mediului este exclusă, asigurând o etanşeitate foarte bună. Durata de exploatare este de cel puțin 100 de ani, dar prețul este mai ridicat.

b) – Rulmenții ceramici (vezi şi § 2.3.2.3.d) pot fi executați parțial sau în întregime din materiale ceramice (SiC sau Si_3N_4). În primul caz, numai bilele sunt executate din ceramică (rulmenți hibrizi), iar căile de rulare sunt metalice, putând funcționa până la 540 ^{0}C. În al doilea caz, pot funcționa până la 1100 ^{0}C. Rulmenții ceramici se utilizează în domenii în care ungerea este dificilă sau imposibilă: freze dentare care funcționează la turații mari şi trebuie sterilizate des în etuvă, pompe care funcționează în vid sau în medii gazoase corosive, pompe de carburați pentru avioane, motoare de turbine.

c) – Sculele pentru prelucrarea metalelor se bazează pe unele proprietăți specifice ale ceramicelor: duritate, rigiditate, rezistență mecanică, abrazivitate şi refractaritate. În acest sens se utilizează materialele ceramice prezentate în tabelul 3.5.

Tabelul 3.4. **Proprietăţile şi aplicaţiile materialelor ceramice funcţionale**

Funcţia	Compoziţia	Adaosuri dopante sau faze distincte	Proprietăţi electrice şi magnetice	Domenii de aplicare
0	1	2	3	4
Capacitivă	$SrTiO_3$ $MgTiO_3$ $CaTiO_3$	Pământuri rare	Permitivitate Rezistivitate Coeficient de temperatură	Condensatoare cu coeficient de temperatură definit
	TiO_2+$BaTiO_3$	Pământuri rare $MgTiO_3$	Rigiditate dielectrică Coeficient de temperatură al permitivităţii	Condensatoare cu coeficient de temperatură definit
	$Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ $Pb(Fe_{1/2}Nb_{1/2})O_3$	$Pb_5Ge_3O_{11}$ Bi_2O_3, B_2O_3	Permitivitate Rezistivitate sau rezistenţă de izolaţie	Condensatoare de foarte mare permitivitate
	$Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$	$BaSnO_3$ $SrTiO_3$	Semiconductibilitate Reoxidare superficială	Condensatoare cu straturi de oprire la suprafaţă
Dielectrică la frecvenţe înalte	$Zr_{1-x}Sn_xTiO_4$	NiO, Fe_2O_3, La_2O_3	Frecvenţă de rezonanţă ε_r =30-40	Rezonatoare dielectrice pentru frecvenţe înalte
Magnetică	$Zn_{1-x}Ni_xOFe_2O_3$ $Zn_{1-x}Mn_xOFe_2O_3$		Permeabilitate iniţială Ciclu histerezis	Ferite moi pentru miezuri de transformator
	$SrO{\cdot}6Fe_2O_3$ $BaO{\cdot}6Fe_2O_3$	SiO_2 SrO	Caracteristici magnetice Ciclu histerezis	Magneţi permanenţi
	Grenate pentru frecvenţe înalte	$Y_{3-x}Ca_{2x}Fe_{5-x}Zr_xO_{12}$ $Y_{2-x}Ca_{2x}Fe_{5-x-y}V_xLn_yO_{12}$ $Y_{3-x}Ca_{2x}Fe_{5-x-y}Ge_xLn_yO_{12}$ $Y_{3-x}Gd_{3x}Fe_{5-y}Al_{5y}$	Magnetizare de saturaţie în funcţie de frecvenţă Pierderi neglijabile	Pompe mici de căldură şi izolatoare pentru frecvenţe înalte

Tabelul 3.4. (continuare)

0	1	2	3	4
Electronică şi ionică	SiC	BeO	Rezistivitate Conductibilitate termică	Substraturi pentru componente de putere
	Si_3N_4	MgO	Caracteristici dielectrice Coeficient de dilatare termică	Dielectrici pentru frecvenţe înalte şi substraturi de interconectare
	Porţelan Mullit Cordierită		Caracteristici dielectrice Coeficient de dilatare termică	Substraturi de interconectare Izolatoare electrice
	$MoSi_2$		Rezistivitate	Rezistenţe de încălzire Electrozi pentru generatoare magnetohidrodinamice.
	$LaCrO_3$		Semiconductibilitate	Rezistenţe de încălzire Electrozi pentru generatoare magnetohidrodinamice
	ZrO_2	Bi_2O_3, Al_2O_3, Fe_2O_3	Semiconductibilitate Structură cristalină	Rezistenţe de încălzire Electrozi Captoare de oxigen
	Alumină β		Conductivitate ionică	Electrozi
	TiO_2	Ta, Nb	Semiconductibilitate de supra-faţă	Captoare de gaz. Descompunere fotochimică a apei
	SnO_2	Defecte de oxigen	Semiconductibilitate de supra-faţă	Detecţia gazelor combustibile

Tabelul 3.4. (continuare)

0	1	2	3	4
Rezistenţă neliniară	$BaTiO_3$	La, Nd, Sb, Nb, TiO_2, SiO_2, Al_2O_3	Semiconductibilitate	Termistori cu coeficient de temperatură pozitiv
	$M^{2+}O \cdot Mn_2^{3+}O_3$	Mn_2^{3+} înlocuit Cu, Ni, Co, Fe	Conductibilitate prin salturi de electroni	Termistori cu coeficient de temperatură negativ
	TiO_2	Ta, Ba, Nb	Semiconductibilitate	Varistoare
	SiC	BeO	Rezistivitate	Varistoare
Piezoelectrică Feroelectrică Piroelectrică Electrooptică	$Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$	Donori: Nb^{5+}, Le^{3+} Acceptori: Fe^{3+}, Ba^{2+}, Sr^{2+}, Sn^{4+}	Constante piezoelectrice, fero-electrice şi piroelectrice	Transductoare Oscilatoare Aplicaţii electrooptice Detectoare în infraroşu
	$(Pb_{1-x}La)\cdot(Zr_yTi_{1-y})_{1-x}O_3$		Constante piezoelectrice, fero-electrice şi piroelectrice	Optoelectronică
	$LiNbO_3$ $LiTaO_3$		Constantă piezoelectrică	Filtre pentru unde de suprafaţă Optoelectronică

Tabelul 3.5. **Materiale ceramice destinate fabricării sculelor pentru prelucrarea metalelor**

Materialul	**Compoziția**	**Duritatea Knoop**[1]	**Modulul de elasticitate [GPa]**	**Rezistența la compresiune [MPa]**	**Temperatura de topire [^{0}C]**
Alumină	Al_2O_3	2100	350	3000	2050
Carbură de bor	B_4C	3500	450	2900	2425
Carbură de siliciu	SiC	3000	400	1000	2400
Carbură de titan	TiC	3100	350	2800	3100
Carbură de wolfram	WC	2700	600	5000	2780
Cuarț	SiO_2	1000	54	1200	≈1700
Nitrură cubică de bor	BN	5000	860	7000	3500
Silice vitroasă	SiO_2	550	72	700	≈1600

[1] *Metoda Knoop (HK)* constă în apăsarea asupra materialului de încercat a unui penetrator piramidal asimetric din diamant, cu unghiurile de $172^0 30'$ şi 130^0 între fețele opuse, forța de apăsare fiind sub 1 daN. Metoda a fost brevetată în 1939 în SUA, de savantul american Frederick Knoop.

Sculele pentru prelucrarea metalelor cuprind sculele abrazive folosite la polizare, debitare, rectificare, honuire, lepuire şi superfinisare, plăcuțele dure pentru armarea cuțitelor, frezelor şi burghielor, precum şi matrițele şi poansoanele folosite pentru deformări plastice la cald.

d) – Membranele şi filtrele ceramice constituie o altă aplicație a ceramicelor avansate. Membranele ceramice sunt fabricate din argilă fină şi oxid de zirconiu, prin *procedeul sol-gel*. Solul este o suspensie sau o dispersie de particule coloidale termodinamic instabile care tinde spontan către o stare numită gel. Gelul este o substanță coloidală cu consistență vâscoasă şi însuşiri specifice deopotrivă lichidelor şi solidelor. Procedeul sol-gel permite depunerea de membrane foarte fine, cu o porozitate bine controlată, pe un suport cu porozitate grosieră.

Filtrele ceramice se confecționează din Al_2O_3, ZrO_2, SiC şi cordierită şi sunt inerte din punct de vedere chimic. Ele se folosesc pentru epurarea gazelor de eşapament, pentru separarea apei de ulei, precum şi pentru osmoza inversă, filtratea laptelui şi sterilizarea vinului.

e) – Reactoarele chimice sunt instalații industriale în care se efectuează reacții chimice în prezența unui catalizator, încercându-se creşterea temperaturii de reacție şi obținerea unor componenți agresivi. Ceramicele care rezistă acestor condiții sunt carbura de siliciu şi zeolitul. Datorită inerției chimice, aceste materiale

se folosesc şi pentru construcţia rezervoarelor destinate păstrării şi manipulării substanţelor chimice agresive.

f) – Piesele pentru motoarele cu ardere internă încep să fie fabricate din ceramică, îndeosebi cele supuse la frecare: garnituri de etanşare pentru arborii pompelor de apă, patine de culbutoare, tacheţi cu role pentru motoare diesel de mare putere şi injectoare pentru pompe de motorină.

g) – Protezele osoase sunt un alt domeniu de aplicare a ceramicelor, datorită rezistenţei la uzură, rezistenţei mecanice şi biocompatibilităţii. Până acum, protezele de şold, de umăr şi de genunchi erau alcătuite dintr-un aliaj de Ti-Cr-Co, placat în articulaţii cu un strat de polietilenă, pentru micşorarea frecării. După un anumit timp, polietilena se uzează, făcând proteza impracticabilă. Ca urmare, articulaţiile au început să fie placate cu alumină sau oxid de zirconiu care au un coeficient de frecare foarte redus şi o durată de viaţă de câteva zeci de ani.

3.4.3.2. Ceramica pentru temperaturi medii se poate utiliza la temperaturi de 500…1000 ^{0}C. Ea se foloseşte în cataliză (proces fizico-chimic prin care se modifică viteza unei reacţii chimice în prezenţa unui catalizator) sau în construcţia tobelor de eşapament catalitice ale automobilelor. În primul caz, gazele nocive rezultate în urma reacţiilor (îndeosebi oxid de azot) trec printr-un filtru sub forma unui fagure de albine, din rutil sau oxizi de fier şi crom, fiind neutralizate. În tobele de eşapament catalitice, cataliza se produce la circa 800 ^{0}C şi pentru a menţine această temperatură, tobele sunt izolate termic cu un strat de fibre ceramice. Acestea trebuie să aibă un coeficient de dilatare foarte scăzut ($\alpha < 1,5\cdot10^{-6}\cdot K^{-1}$). În mod obişnuit, se folosesc fibre de cordierită ($2Al_2O_3$-2MgO-$5SiO_2$).

Ceramica pentru temperaturi medii se mai foloseşte şi pentru fabricarea unor piese pentru motoarele cu piston: supapele din nitrură de siliciu conduc la scăderea cu 3-7% a consumului de benzină şi motorină şi la o reducere cu 10…15 dB a zgomotului; ţevi de eşapament din Al_2O_3 şi ZrO_2 pentru motoarele diesel; placarea capetelor pistoanelor şi a cuzineţilor. De asemenea, se poate utiliza la fabricarea reactoarelor chimice, a unor utilaje petrochimice (unde carbura de siliciu poate înlocui unele aliaje metalice scumpe), a creuzetelor care trebuie să fie inerte chimic şi să poată fi exploatate timp îndelungat (siliciu monocristalin) şi a unor obiecte casnice: cratiţe sau oale de gătit din silicat de aluminiu şi litiu, cu o foarte bună conductibilitate termică şi un coeficient de dilatare aproape nul.

3.4.3.3. Ceramica pentru temperaturi înalte se foloseşte la temperaturi mai mari de 1000 ^{0}C.

a) – Ceramica refractară şi pentru izolaţii termice se utilizează la căptuşirea agregatelor metalurgice sau pentru producerea sticlei, care funcţionează la peste 1000 ^{0}C. Convertizoarele pentru elaborarea oţelului, oalele de turnare şi cuptoarele de încălzire pentru tratamente termice sunt căptuşite cu cărămizi refractare bazice din magnezie şi oxid de crom, iar cuptoarele pentru elaborarea sticlei sunt căptuşite cu cărămizi de silice. Cuptoarele pentru sticlă mai au nişte recuperatoare de căldură, pentru creşterea randamentului energetic, construite din cărămizi de Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2 care au o rezistenţă mare la coroziune şi la variaţiile termice.

b) – Turbomotoarele constituie o aplicaţie importantă a ceramicii refrac-

tare. Ele se utilizează în aeronautică sau la turbinele industriale, pentru creşterea forței de propulsie şi sporirea puterii specifice. Astfel, paletele statoarelor şi rotoarelor acestora sunt confecționate din nitrură de siliciu, iar inelele camerelor de combustie, din carbură de siliciu.

c) – Vehiculele electrice hibride reprezintă o altă aplicație. Acumulatoarele acestora sunt reîncărcate de un alternator acționat de o turbină. Camera de combustie catalitică şi recuperatorul de căldură sunt confecționate din nitrură de siliciu care îşi menține proprietățile mecanice până la 1.350 ^{0}C. Astfel, în zonele populate, vehiculul electric hibrid este acționat de acumulatoare, ceea ce garantează un grad minim de poluare, iar în afara zonelor locuite, de un motor cu ardere internă.

O altă utilizare a ceramicii la temperaturi ridicate o reprezintă schimbătoarele de căldură, confecționate din carbură de siliciu, care are o foarte bună conductibilitate termică (λ = 125 W/m·K). Ele se mai pot confecționa din alumină sau cordierită şi se utilizează la fabricarea incineratoarelor, în industria chimică şi în aeronautică. În aeronautică se încearcă îmbunătățirea randamentului turbinelor prin creşterea temperaturii de intrare, principalele atuuri ale schimbătoarelor de căldură ceramice fiind randamentul ridicat, greutatea redusă şi refractaritatea foarte bună. Acestea se confecționează din nitrură de siliciu care posedă o rezistență mecanică superioară celei a carburii de siliciu.

3.4.4. Acoperiri cu materiale ceramice

Acoperirea este un procedeu de îmbrăcare parțială sau totală a unei piese metalice cu un strat de material ceramic, pentru a-i modifica proprietățile. Acoperirea se realizează prin pulverizare cu materiale ceramice sub formă de pulbere care se topesc prin mai multe procedee.

3.4.4.1. Pulverizarea cu flacără de gaze şi pulbere ceramică (fig.3.19) este o metodă simplă şi ieftină care foloseşte un arzător cu flacără oxiacetilenică. Prin canalul central al arzătorului se introduce pulberea ceramică, aceasta căzând liber, sub efectul gravitației, sau fiind antrenată de un curent de aer comprimat. Temperatura flăcării depăşeşte 3.000 ^{0}C şi topeşte pulberea, care este proiectată cu viteză mare asupra piesei metalice. Distanța dintre arzător şi piesă este de 100…150 mm, pentru ca particulele ceramice să aibă timp să se topească. Pentru o bună aderență, piesa metalică se preîncălzeşte la circa 250 ^{0}C, iar stratul depus are grosimi de 0,1...1,5 mm.

3.4.4.2. Pulverizarea cu flacără de gaze şi electrod ceramic este asemănătoare cu precedenta, cu deosebirea că în locul pulberii se foloseşte un electrod sau un fir din materiale ceramice (fig.3.20). Electrodul este topit de căldura degajată de flacăra oxiacetilenică, iar stropii sunt proiectați cu viteză mare (150 m/s) asupra piesei metalice. Avansul electrodului se realizează automat, ținându-se cont de temperatura lui de topire şi de diametrul său, iar distanța dintre arzător şi piesă este de 100…200 mm.

Procedeul se foloseşte pentru acoperiri de protecție contra uzurii abrazive, coroziunii sau pentru izolații electrice şi termice.

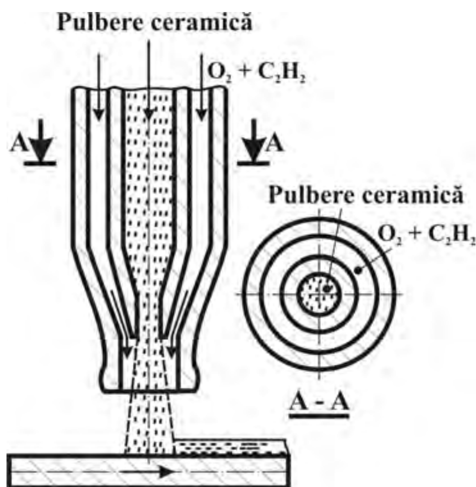


Fig.3.19. Pulverizarea cu flacără de gaze şi pulbere ceramică.

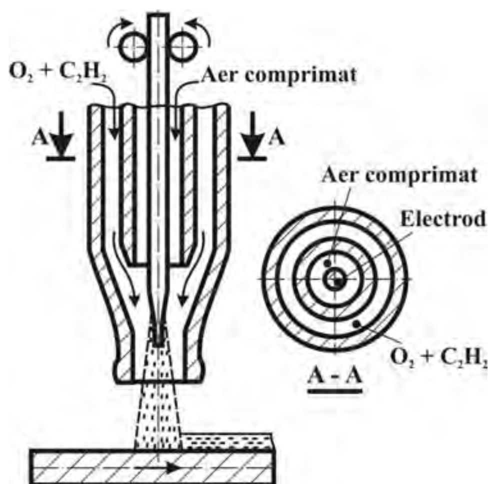


Fig.3.20. Pulverizarea cu flacără de gaze şi electrod ceramic.

3.4.4.3. Pulverizarea cu plasmă este metoda cea mai răspândită pentru acoperirile cu materiale ceramice. Plasmatronul (fig.3.21) este alimentat cu energie electrică de la generatorul *G* (I = 800A, U = 100 V), prin catodul din wolfram *1* şi anodul tubular din cupru *2,* între care se produce un arc electric de înaltă frecvenţă. În arcul electric se introduce un gaz monoatomic (Ar, He) sau biatomic (N_2, H_2) care, sub influenţa temperaturii arcului electric, disociază în particule elementare, formând plasma. Străbătând anodul tubular, gazul plasmagen se destinde, mărindu-şi volumul de circa 100 de ori şi realizând constricţia arcului electric, astfel că temperatura plasmei ajunge la 10.000…15.000 ^{0}C. Plasmatronul are pereţi dubli, pentru răcire cu apă.

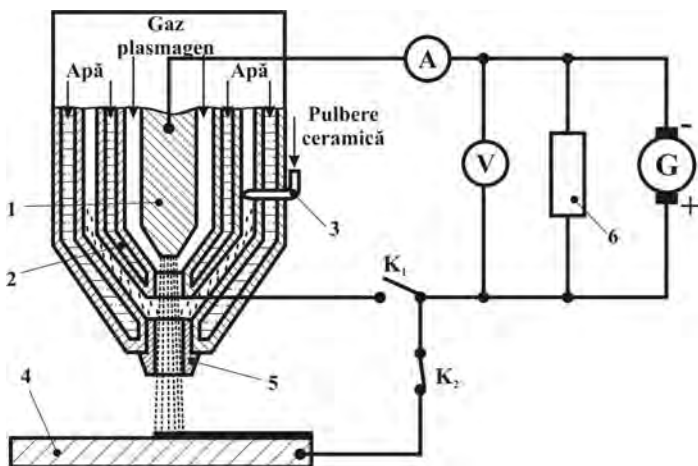


Fig.3.21. Pulverizarea cu plasmă.

Pulberea ceramică este introdusă prin conducta *3*, fiind topită şi proiectată cu viteză foarte mare asupra piesei de metalizat *4*, prin duza specială *5*. Distanța dintre duză şi piesă (10…80 mm) trebuie să fie constantă, ceea ce implică automatizarea procesului.

Plasmatronul poate funcționa cu *jet de plasmă* (K_1 – închis, K_2 – deschis), în cazul placării pieselor nemetalice sau cu *arc de plasmă* (K_1 – deschis, K_2 – închis), în cazul pieselor metalice, bune conducătoare de electricitate. Pentru amorsarea arcului electric se foloseşte oscilatorul de ionizare *6*.

Metoda se utilizează la placarea pieselor cu materiale ceramice cu temperaturi mari de topire, pentru protecții la uzură, coroziune şi termică, în construcții aeronautice şi aerospațiale, în energetică (pile de combustie nucleară), industria sticlei, sectorul medical şi industria automobilelor.

3.4.4.4. Pulverizarea prin procedeul *HVOF* (*H*ight *V*elocity *O*xygen *F*uel) a fost pusă la punct prin anii 1980, cu ocazia perfecționării construcției motoarelor de rachetă. Metoda constă în arderea unui combustibil gazos (hidrogen, propilenă, propan, acetilenă, metan) sau lichid (kerosen) într-un curent de oxigen, la o presiune de 0,5…0,7 MPa (fig.3.22). Se obține o temperatură de 2.500…3.200 ^{0}C şi o scurgere a gazelor arse cu o viteză supersonică (de câteva ori mai mare decât viteza sunetului). Pulberea ceramică este introdusă cu ajutorul unui gaz neutru (hidrogen), topindu-se în flacăra oxigaz şi fiind proiectată asupra piesei cu o viteză de 300…600 m/s. Se obține o acoperire densă, fără pori, cu o aderență foarte bună şi rezistentă la uzură şi la coroziune.

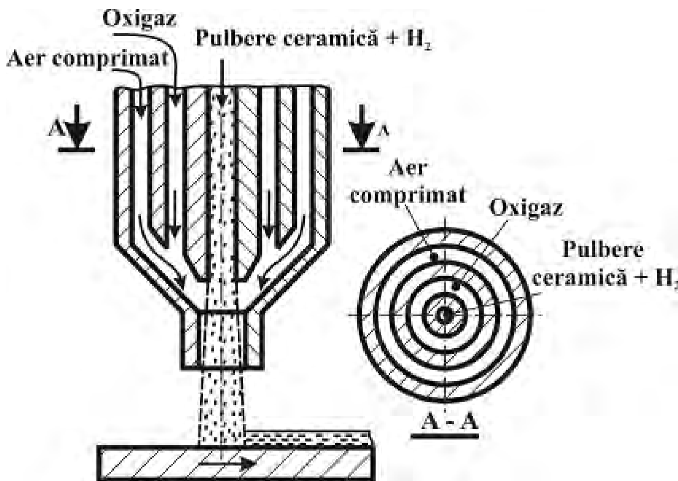


Fig.3.22. Pulverizarea prin procedeul HVOF.

3.4.4.5. Pulverizarea prin explozie (cunoscută sub denumirea de ***D-Gun*** – de la ***D***etonation ***Gun***) se foloseşte îndeosebi pentru acoperiri cu carburi de crom şi wolfram, precum şi cu oxizi de crom şi de aluminiu şi cu cermeturi.

Instalația (fig.3.23) este alcătuită dintr-un tub cu diametrul de 25 mm şi lungimea de 1 m, alimentat cu un amestec de oxigen şi acetilenă. Amestecul este

aprins cu o bujie, iar pulberea ceramică se topeşte şi este pulverizată asupra piesei. Frecvența exploziilor este mare (4…10 explozii/secundă) şi după fiecare detonare tubul este spălat cu azot, regimul de funcționare fiind asigurat de trei electrovalve.

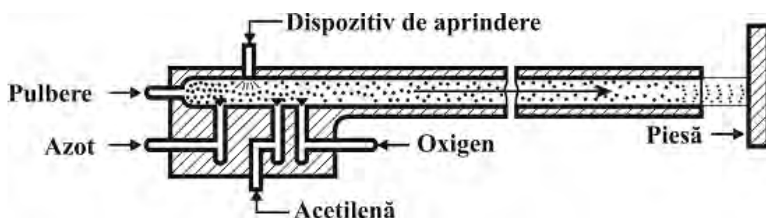


Fig. 3.23. Pulverizarea prin explozie.

Procedeul asigură depunerea unui strat foarte dens, cu o aderență ridicată şi cu o rugozitate foarte scăzută ($R_a \leq 3$ μm) folosindu-se în cazul acoperirilor de calitate şi cu depuneri optime de material.

3.4.4.6. Comparație între procedeele de pulverizare. Proprietățile stratului de protecție depind de microstructura particulelor ceramice şi de caracteristicile piesei supuse acoperirii. Parametrii particulelor de impact sunt viteza, temperatura, mărimea şi compoziția chimică, iar cei ai substratului pe care se aplică, rugozitatea, natura chimică şi temperatura înainte de acoperire. În tabelul 3.6 se prezintă caracteristicile procedeelor de pulverizare descrise mai sus.

Tabelul 3.6. **Comparație între procedeele de pulverizare**

Caracteristica	**Procedeul**				
	Cu flacără şi pulbere	**Cu flacără şi electrod**	**Cu plasmă**	**HVOF**	**Prin explozie**
Sursa de căldură	Flacără	Flacără	Plasmă	Flacără	Flacără
Temperatura [^{0}C]	3.000	3.000	12.000	3.000	3.000
Viteza gazelor [m/s]	80-100	100-300	300-1200	400-2000	900-2000
Transportul particulelor	Gaze	Aer comprimat	Gaze	Gaze	Gaze
Viteza particulelor [m/s]	40	150	200	700	950
Forma materialului de acoperire	Pulbere	Electrod	Pulbere	Pulbere	Pulbere
Productivitatea acoperirii [kg/h]	1-3	1-20	1-4	3-5	3-5
Randamentul acoperirii[1] [%]	50	70	70	70	70
Rezistența de aderență [MPa]	20-40	20-40	30-70	50-80	50-80
Porozitatea [%]	10-20	10-20	1-10	0,5-2	0,5-2
Grosimea stratului [mm]	0,1-1,5	0,1-1,5	0,05-1,5	0,05-1	0,05-1

Observație: [1] Procentul de material pulverizat care aderă la substrat.

3.4.4.7. Materiale ceramice folosite la acoperiri.

a) – Oxidul de zirconiu (***ZrO_2***) se topeşte la 2.715 ^{0}C, are un coeficient de dilatare apropiat de cel al metalelor, este rezistent la coroziune şi un bun izolator termic şi electric. Prin adăugarea unor oxizi (CaO, MgO, Y_2O_3) capătă rezistențe la şocuri termice şi la oxidare la temperaturi înalte. Se foloseşte la acoperirea unor piese din metalurgie (canale de curgere a metalelor topite, forme permanente de turnare, hote de captare a gazelor la convertizoare), automobile şi avioane (camere de ardere, palete de turbine, țevi de eşapament), industria nucleară (elemente ale reactoarelor, duze) şi electrotehnică.

b) – Oxidul de crom (***Cr_2O_3***) asigură acoperiri dense şi dure, cu coeficient de frecare foarte mic şi cu o bună rezistență la coroziune şi la oxidarea la temperaturi ridicate. Se utilizează în chimie şi petrochimie (garnituri, arbori, rotoare şi corpuri de pompe), metalurgie (filiere pentru trefilarea sârmelor) şi în tipografii (cilindri de tipărire).

c) – Alte materiale folosite la acoperirile ceramice sunt *alumina* (Al_2O_3) care este rezistentă la abraziune şi la temperaturi ridicate (rotoare de compresoare pentru aviație, inductoare pentru cuptoare electrice, elice pentru malaxoare), *mullitul* ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) care are o mare rezistență la şocuri termice (jgheaburi pentru cuptoarele de zinc şi aluminiu), *silicatul de zirconiu* (rezistență la temperaturi înalte), *zirconatul de magneziu* (rezistență la coroziune la temperaturi mari) şi *carbura de siliciu* (ecrane termice şi blindaje în industria de armament, palete de turbine, garnituri de etanşare, reactoare chimice şi petrochimice).

3.4.5. Prelucrarea materialelor ceramice

Proprietățile fizico-mecanice ale materialelor ceramice (fragilitate, duritate şi temperatură înaltă de topire) nu permit prelucrarea acestora prin procedee clasice, asemenea metalelor. Schema prelucrării materialelor ceramice este prezentată în figura 3.24.

În componența materialelor ceramice intră:

- *materialele plastice* (argilă, caolin, bentonită, lut, loess) constituie partea principală din care se fabrică produsele ceramice tradiționale şi au rol de liant, legând alte componente neplastice;

- *degresanții* (nisip, şamotă) reduc contracția la uscare şi la ardere şi contribuie la creşterea porozității produselor;

- *fondanții* (feldspat, calcar, marmură, cretă) contribuie la coborârea temperaturii de vitrifiere a materiilor prime solide, atunci când ceramica se obține prin topire;

- *materialele refractare* (alumină, magnezit, dolomită, cromit, carburi, nitrúri, borúri) rezistă la temperaturi ridicate, fără a se topi şi fără a se înmuia;

- *lubrifianții* (motorină, petrol, uleiuri vegetale, parafină, lignină) se adaugă în cantități reduse produselor ce urmează a se fasona prin presare, facilitând prelucrarea şi extragerea semifabricatelor din matrițe;

- *materialele porifere* (rumeguş, praf de cărbune, mangal, turbă) se descompun în timpul arderii şi contribuie, prin golurile formate, la creşterea

porozităţii produselor.

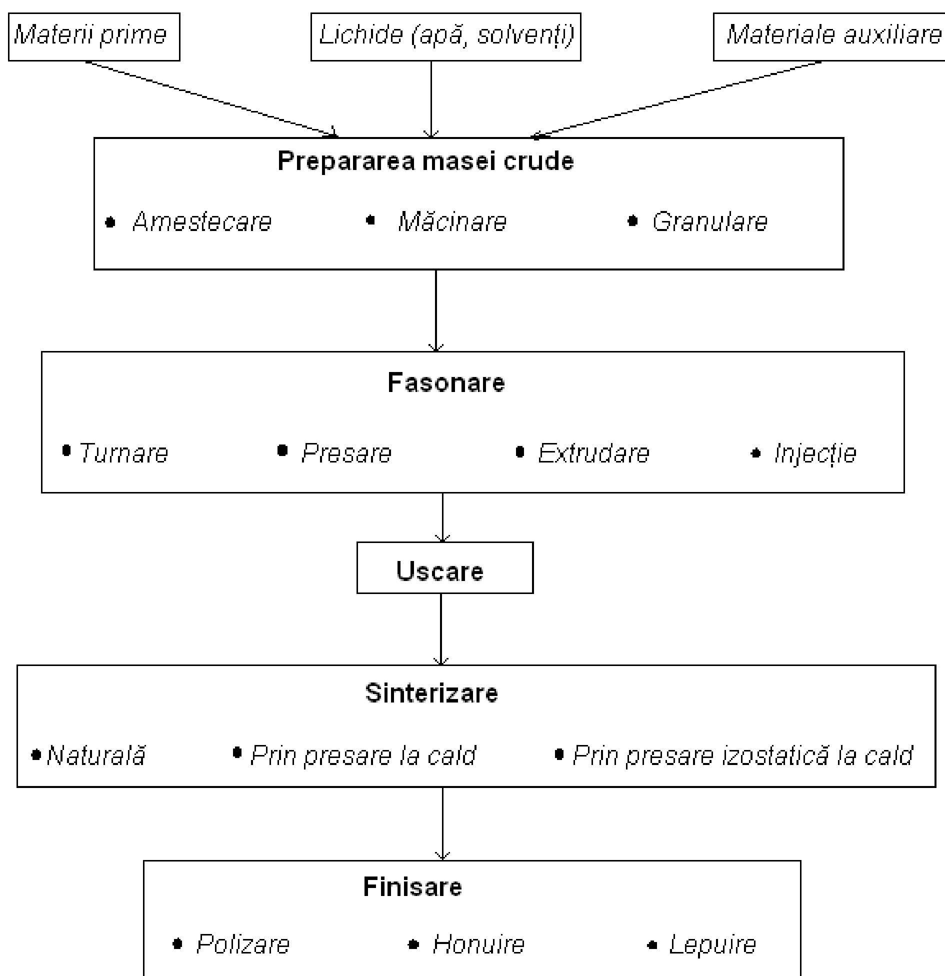


Fig. 3.24. Schema fabricării produselor ceramice.

a) – Prepararea masei crude se face prin *amestecare, măcinare* şi *granulare.*

Amestecarea se realizează cu amestecătoare sau malaxoare, pentru transformarea materialelor într-o masă omogenă.

Măcinarea este o operaţie de sfărâmare şi mărunţire a materialelor friabile care se realizează cu ajutorul morilor. Există *mori cu bile* la care măcinarea se produce prin căderea şi rostogolirea unor bile metalice, *mori cu ciocane* care acţionează prin lovire, *mori cu bare* la care măcinarea se realizează cu bare cilindrice cu lungimea egală cu a morii şi *mori cu cilindri* care funcţionează prin presare. Măcinarea poate fi uscată sau umedă.

Granularea este operația de transformare în granule de ordinul micronilor a masei ceramice fluide numite *barbotină*, cu ajutorul unei maşini numite *granulator*, cu următoarea funcționare (fig. 3.25): barbotina fluidă este introdusă şi împrăştiată prin centrifugare în turnul de uscare *1* cu discul *2*. În turn se insuflă aer încălzit în camera *3* pentru uscarea granulelor de barbotină. Acestea cad, prin gravitație, ajungând pe transportorul *4*, iar cele care au dimensiuni prea mici sunt aspirate de ventilatorul *5*, prin ciclonul *6*. Particulele mai grele coboară prin ciclon pe transportor, iar cele foarte fine sunt aspirate de ventilator şi urmează a fi reciclate. Transportorul duce granulele care au dimensiuni corespunzătoare într-un siloz.

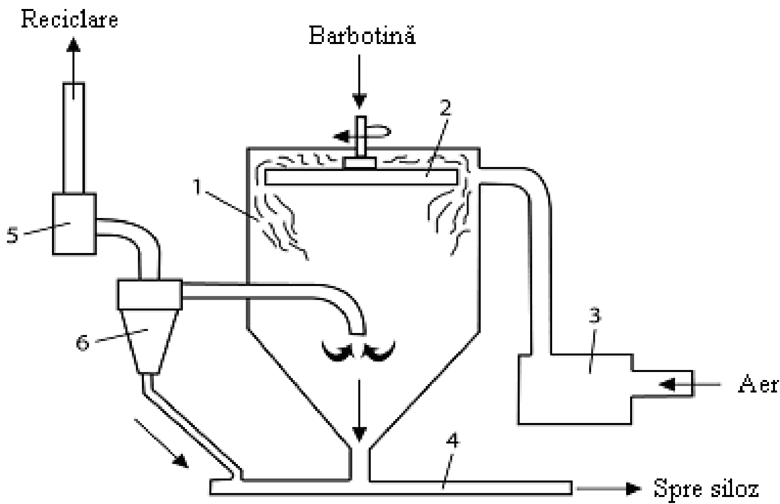


Fig. 3.25. Instalație de granulare.

b) – Fasonarea este operația cea mai importantă prin care se dă produselor forma dorită. Ea se poate realiza prin turnare, presare, extrudare şi injecție.

Turnarea se face în forme hidrofile din ipsos (fig. 3.26). Barbotina din vasul *1* se varsă în forma hidrofilă din ipsos *2* şi după uscare rezultă piesa *3*. Procedeul se foloseşte la fabricarea produselor de porțelan şi de faianță. Barbotina trebuie să fie fluidă, să aibă un conținut de apă cât mai mic şi să fie stabilă.

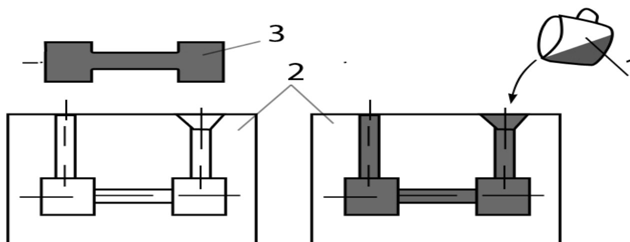


Fig. 3.26. Turnarea.

Presarea poate fi uscată sau umedă şi se poate face dintr-o singură parte (fig. 3.27.a), prin apăsarea cu poansonul *1* în matriţa *2* a materialului *3* sau din două părţi (fig.3.27.b), când presarea se face mai uniform. Mai există şi presare izostatică (fig.3.27.c): materialul *1* este introdus în mantaua de cauciuc *2*, amplasată în camera de presare *3*, în care se trimite lichidul sub presiune *4* (până la 20.000…60.000 daN/cm^2). Camera este închisă cu capacul *5*, iar presiunea se controlează cu manometrul *6*.

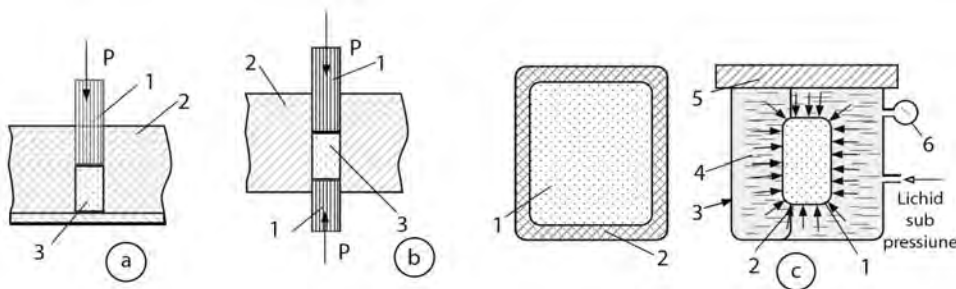


Fig. 3.27. Presarea.

Extrudarea constă în trecerea forţată a materialului prin deschizătura profilată a unei matriţe, prin împingere. Astfel materialul *1* (fig. 3.28) este împins cu poansonul *2* în camera de presare *3*, fiind trecut prin matriţa *4*, profilată corespunzător.

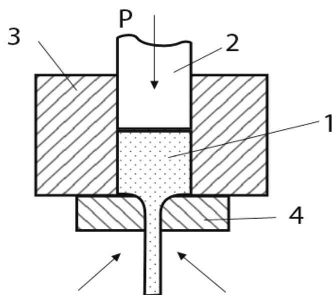


Fig. 3.28. Extrudarea.

Injecţia se realizează cu instalaţii asemănătoare celor utilizate la turnarea sub presiune a materialelor plastice.

c) – Uscarea se face pentru înlăturarea apei din produsele fasonate şi se realizează natural sau artificial, în instalaţii numite uscătorii. Produsele bine uscate rezistă la o creştere rapidă a temperaturii în perioada ulterioară de ardere şi, prin aceasta, creşte productivitatea cuptoarelor şi se reduce consumul de combustibil pentru ardere.

d) – Sinterizarea constă în încălzirea pieselor fasonate şi uscate la o temperatură cuprinsă între 0,7 şi 0,8 din temperatura de topire a componentului principal al amestecului şi are ca scopuri creşterea rezistenţei la tracţiune şi a durităţii pieselor, ca şi modificarea unor proprietăţi fizice şi chimice.

În timpul procesului de sinterizare (fig. 3.29) are loc difuziunea atomilor care formează grăunţii cristalini ai granulelor *1* (fig. 3.29.a), formându-se legăturile punctiforme *2* (fig. 3.29.b) între granule. Datorită creşterii mobilităţii atomilor şi tendinţei de deplasare spre echilibru a sistemului, are loc o recristalizare, prin creşterea noilor grăunţi cristalini *3* (fig. 3.29.c). Prin recristalizare se reduce cantitatea de pori, iar materialul se contractă şi se compactizează.

Factorii care influenţează calitatea procesului de sinterizare sunt:

temperatura, durata şi mediul de lucru. Temperatura de sinterizare depinde de natura componenților amestecului, practic fiind cuprinsă între 0,7 şi 0,8 din valoarea temperaturii de topire a componentului principal al amestecului. Durata sinterizării depinde de scopul final al tratamentului şi se stabileşte în funcție de proprietățile pe care trebuie să le aibă piesa tratată.

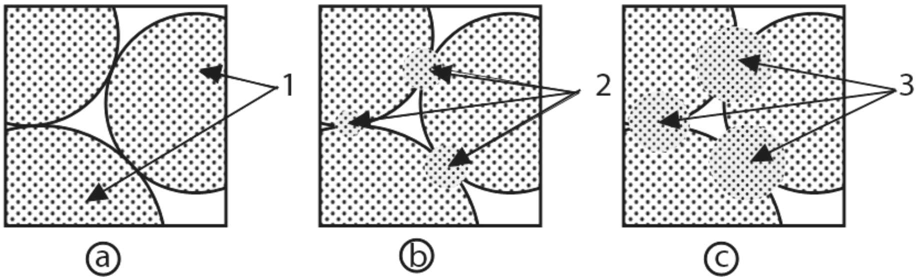


Fig. 3.29. Mecanismul sinterizării.

În ceea ce priveşte modul de lucru, sinterizarea poate fi :

- *naturală,* atunci când nu se aplică forțe exterioare; metoda este simplă, dar necesită temperaturi ridicate, ceea ce conduce la creşterea noilor grăunți cristalini şi eliminarea totală a porozității;

- *prin presare la cald* (fig. 3.27.a,b), când se pot obține densități mari la temperaturi mai scăzute, fără înlăturarea completă a porozității;

- *prin presare izostatică la cald* (fig. 3.27.c), atunci când se urmăreşte scopul metodei anterioare, dar la temperaturi şi mai scăzute.

Sinterizarea sau arderea se realizează, în funcție de natura şi destinația pieselor, în diverse tipuri de cuptoare.

e) – Finisarea se aplică atunci când cerințele tehnologice o impun şi conduce la o precizie dimensională a pieselor şi o calitate a suprafețelor prelucrate foarte bune. Ea se execută cu scule abrazive, deseori diamantate, prin *polizare, honuire* sau *lepuire.*

3.5. Materiale compozite

3.5.1. Generalități

Materialul compozit este o îmbinare a două sau mai multor materiale imiscibile, dar care au o capacitate mare de adeziune şi care are proprietăți superioare materialelor din care provine. Un astfel de material este constituit dintr-o osatură numită *ranfort* care asigură rezistența mecanică şi un material de legătură numit *matrice* care asigură coeziunea structurii şi transmiterea solicitărilor la care sunt supuse piesele. Ele mai conțin *materiale de umplutură* care modifică sensibil proprietățile mecanice, electrice şi termice, ameliorează aspectul superficial şi reduc prețul de cost. Materialele astfel obținute sunt eterogene (au proprietăți diferite în puncte diferite) şi anizotrope (nu au aceleaşi proprietăți în toate

direcţiile).

Primul material compozit utilizat de om a fost lemnul (compozit natural), iar mai târziu chirpiciul (material de construcţie sub formă de cărămidă, făcut dintr-un amestec de lut, paie şi băligar uscat la soare), betonul şi betonul armat. În 1823, Charles Macintosh[1] a inventat impermeabilul, prin cauciucarea unei ţesături de bumbac, iar în 1892, François Hennebique[2] a realizat betonul armat.

Materialele compozite prezintă următoarele avantaje: greutate redusă; rezistenţă bună la tracţiune; coeficient de dilatare mic; rezistenţă la oboseală ridicată; rezilienţă ridicată; capacitate bună de amortizare a vibraţiilor; rezistenţă la umiditate, căldură, coroziune, precum şi la acţiunea unor produse chimice (uleiuri, solvenţi, petrol); ciclu de fabricaţie scurt şi preţ de cost acceptabil; siguranţă mare în funcţionare.

În acelaşi timp, ele nu pot înlocui materialele metalice sau ceramice în domenii care reclamă proprietăţi fizico-mecanice sau chimice specifice. Clasificarea materialelor compozite se face după criteriile prezentate în fig. 3.30.

3.5.2. Tipuri de materiale compozite

Materialele de armare constituie osatura compozitelor, conferindu-le rezistenţă la tracţiune, rigiditate şi un modul de elasticitate bun. După natura lor, ele pot fi organice sau anorganice, iar după modul de prezentare, sub formă granulară, de fibre sau plăci.

Matricea leagă compozitul într-un monolit, transmite eforturile materialelor de ranforsare şi împiedică deplasarea acestora. De asemenea, asigură protecţia chimică a osaturii împotriva agenţilor exteriori şi dă forma dorită produsului finit. Ca matrice, se folosesc materiale plastice (până la 200 ^{o}C), metalice (până la 600 ^{o}C) sau ceramice (până la 2.000 ^{o}C).

Materialul compozit obţinut îmbină proprietăţile favorabile ale componentelor şi înlătură proprietăţile nefavorabile ale acestora. Astăzi există un număr însemnat de materiale compozite, în cele ce urmează prezentându-se câteva dintre acestea.

3.5.2.1. Materiale compozite armate cu particule. Materialul compozit este alcătuit din particulele dure şi fragile *1* dispersate aleatoriu în matricea moale şi ductilă *2* (fig. 3.31.). Cu cât aceste particule sunt mai fine şi distanţa dintre ele este mai mică, cu atât compozitul este mai dur şi mai rezistent. În practică, se utilizează îndeosebi compozite armate cu particule mai mari care au proprietăţi specifice interesante.

---

[1] *Charles MACINTOSH* (1766-1843) – inventator şi chimist scoţian care a obţinut mai mulţi coloranţi şi a patentat o metodă de elaborare a oţelului la temperatură ridicată. Este cunoscut mai ales prin inventarea impermeabilului, o manta cauciucată de ploaie care, în Marea Britanie, se numeşte *mackintosh.*

[2] *François HENNEBIQUE* (1842-1921) – constructor francez care şi-a început activitatea ca simplu zidar. În 1892 a construit primul imobil din beton armat, iar în 1899, primul pod din beton armat, la Châtellerault, în Franţa. Au urmat apoi docurile din Manchester, tunelul din Newcastle şi stadionul din Lyon.

- ***Materiale compozite***
  - După felul materialelor de ramforsare
    - Particule
      - Macroparticule
      - Microparticule
    - Fibre
      - Continue (lungi)
      - Discontinue (scurte)
    - Structurale
      - Stratificate
      - Sandviş
  - După natura matricelor
    - Plastice
      - Termoreactive
      - Termoplaste
      - Elastomeri
    - Metalice
      - Neferoase
      - Feroase
    - Ceramice
      - Oxizi
      - Carburi
      - Nitruri
      - Siliciuri
      - Boruri
  - După procedeul de prelucrare
    - Formare manuală
      - Prin contact
      - Prin stropire
    - Turnare
      - În forme
      - Centrifugă
      - Sub presiune
      - Continuă
    - Laminare
      - În stare solidă
      - În stare lichidă
      - În stare semifluidă
    - Presare
      - În stare solidă
      - În stare lichidă
      - În stare semifluidă
    - Înfăşurare

Fig.3.30. Clasificarea materialelor compozite.

a) – Carburile metalice conțin particule ceramice dure (carburi de wolfram, titan şi tantal), cu concentrații volumice de până la 94%, încorporate într-o matrice de cobalt. După presarea amestecului de pulberi, acesta se încălzeşte peste temperatura de topire a cobaltului. Cobaltul lichid va încorpora particulele dure, rezultând astfel plăcuțele dure cu care se armează sculele aşchietoare.

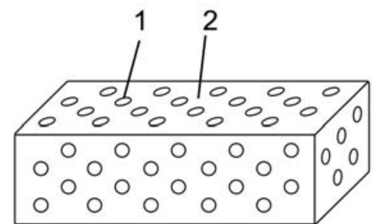


Fig.3.31. Material compozit armat cu particule.

b) – Sculele abrazive sunt produse fasonate sub formă de discuri sau prisme, alcătuite din particule abrazive, încorporate în masa unui liant. Materialele abrazive sunt materiale cristaline dure sub formă de granule, pulberi sau micropulberi care, datorită muchiilor şi vârfurilor aleatoare pe care le au, detaşează numeroase aşchii mărunte de pe suprafața de prelucrat. Ele pot fi naturale sau artificiale.

Ca materiale abrazive naturale se utilizează: şmirghelul (40…65% Al_2O_3 cristalin, cu adaosuri de magnetită, cuarț şi silicați), cuarțul, corindonul şi diamantul natural, iar ca materiale abrazive sintetice, electrocorindonul, carbura de

siliciu, carbura de bor, azotura cubică de bor şi diamantul artificial.

Lianții au rolul de îngloba particulele abrazive. Ei trebuie să reziste la solicitări termice mari, la solicitări mecanice şi la acțiunea lichidelor de răcire. Din punct de vedere chimic pot fi anorganici (argilă, feldspat, caolin, silicați fluizi, oxiclorură de magneziu, oxid de magneziu) sau organici (lacuri, bachelită, cauciuc natural sau sintetic).

c) – Contactele electrice se obțin din pulberi de wolfram şi argint care se presează şi se încălzesc până la topirea argintului. Particulele dure de wolfram sunt încorporate într-o matrice de argint. Contactele electrice vor avea astfel o rezistență la uzură ridicată şi o conductibilitate electrică foarte bună.

d) – Aliajele antifricțiune sunt alcătuite din compuşi intermetalici duri încorporați într-o matrice moale şi cu temperatura de topire scăzută. Cristalele dure (Sb, SnSb, Cu_3Sn) au un coeficient de frecare redus şi asigură rezistența mecanică a cuzineților lagărelor cu alunecare, iar matricea moale (Pb, Sn) conferă un coeficient de frecare şi mai mic, precum şi acomodarea la fusul arborelui, pe măsura uzării.

e) – Cermeturile (***cer***amică + ***met***al) sunt amestecuri de pulberi ceramice dure (Al_2O_3, ZrO_2, mullit[3]) până la o concentrație volumică de 80%, cuprinse într-o matrice metalică (Fe, Cr, Ni, Co, Mo). Ele se obțin prin tehnologii de metalurgia pulberilor (presare şi sinterizare) şi se folosesc ca materiale rezistente la temperaturi înalte sau la uzură (căptuşirea camerelor de combustie ale reactoarelor).

f) – Masele plastice cu materiale de umplutură constau dintr-un material plastic termoreactiv (răşini fenolice sau epoxidice) sau termoplast (polimetacrilat de metil, polipropilenă, poliamidă, teflon), în care sunt înglobate materiale de umplutură de naturi diferite (rumeguş de lemn, praf de cuarț, pulberi metalice) cu concentrații volumice de până la 70%. Aceste materiale se remarcă prin prețuri avantajoase şi proprietăți fizico-mecanice îmbunătățite.

Polietilena cu pulberi de plumb se foloseşte la reactoarele nucleare pentru absorbția radiațiilor, iar cauciucul vulcanizat (încălzit cu sulf pentru mărirea elasticității şi a rezistenței la acțiunea solvenților) în amestec cu negru de fum îşi măreşte rezistențele la rupere, la uzură şi la căldură, precum şi duritatea.

3.5.2.2. Materiale compozite armate cu fibre. Compozitele armate cu fibre au caracteristici mecanice foarte bune şi densități mici, fiind utilizate îndeosebi în industria aerospațială. De asemenea, ele sunt singurele materiale care se pot folosi la temperaturi mai mari de 900 ^oC, în condiții de solicitări mecanice mari şi în medii oxidante (reactoare nucleare, industriile aerospațială şi de armament).

3.5.2.2.1. Fibre de armare. Dispunerea fibrelor în materialul compozit se poate realiza în mai multe moduri (fig.3.32): uniaxial (fig.3.32.a), biaxial (fig. 3.32.b), triaxial (fig. 3.32.c), sub formă de țesătură (fig. 3.32.d) sau sub formă toroidală (fig. 3.32.e).

---

[3] *Mullit* – silicat de aluminiu foarte refractar, incolor sau roz, cu luciu sticlos, conținut în materiale aluminoase şi argiloase.

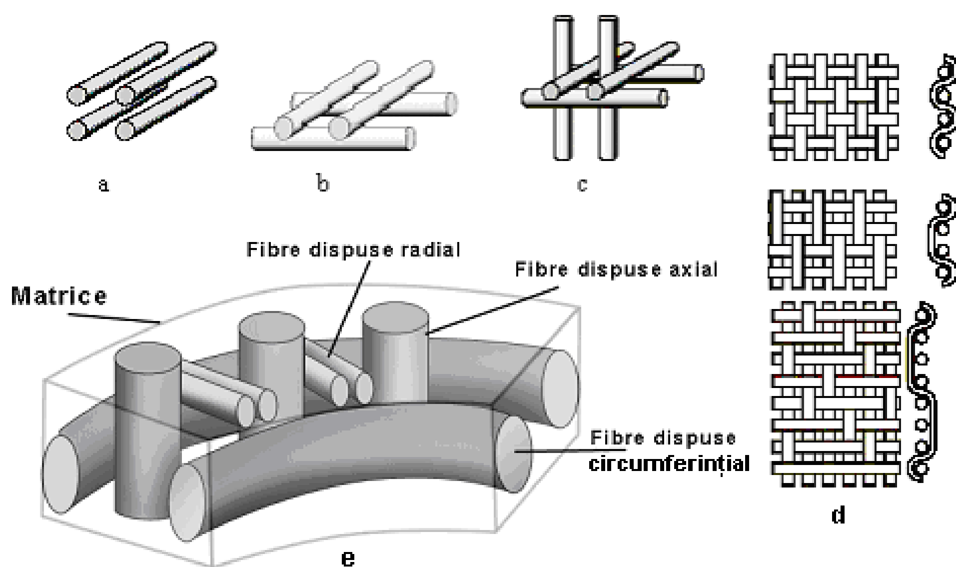


Fig. 3.32. Materiale compozite armate cu fibre.

După natura lor, fibrele de ranforsare se clasifică după schema din fig.3.33.

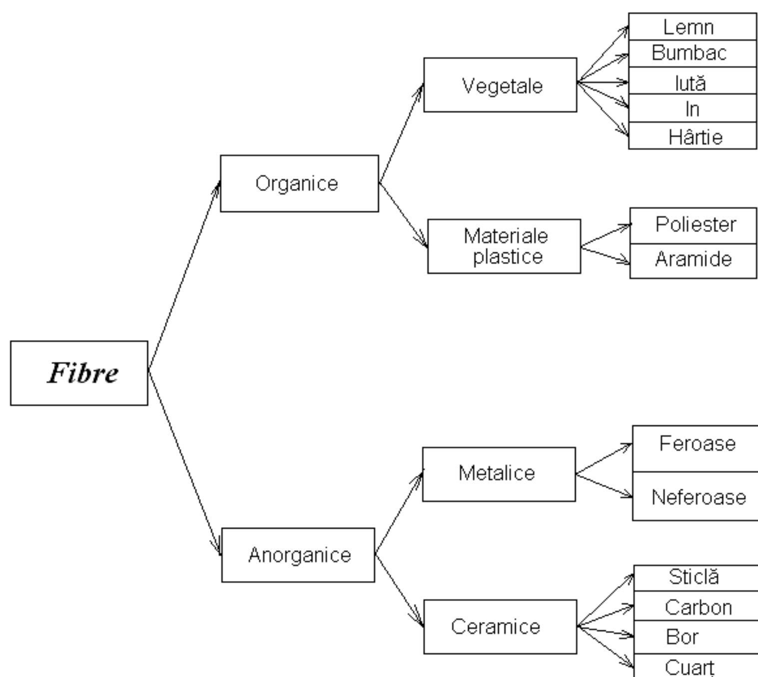


Fig. 3.33. Clasificarea fibrelor de ranforsare.

a) – Fibrele de sticlă au fost primele fibre utilizate la armarea compozitelor

şi se obţin prin tragere. Sticla este un material nemetalic termoplast, cu structură amorfă care se obţine prin topirea în comun a mai multor materiale componente: vitrifianţi pentru producerea materiei sticloase (SiO_2), fondanţi pentru coborârea temperaturii de topire (Na_2O, K_2O) şi stabilizatori pentru creşterea durităţii, rezistenţei mecanice şi stabilităţii chimice (MgO, PbO, Al_2O_3, BaO). Aceste componente se amestecă în stare solidă şi se topesc în creuzete, la 1300...1500 °C, timp de 12...15 ore, încărcătura fiind supusă unor transformări fizico-chimice complexe.

Fibrele de sticlă nu trebuie să prezinte zgârieturi care ar constitui zone de concentrare a tensiunilor şi ar conduce la scăderea rezistenţei mecanice. Pentru înlăturarea posibilităţii deteriorării superficiale a fibrelor, acestea se protejează cu un strat de grund care facilitează şi adeziunea lor la matrice.

b) – Fibrele de carbon conţin 80…95% C, sunt uşoare, rezistente la acţiunea agenţilor chimici şi a mediului înconjurător, stabile la temperaturi înalte, bune conducătoare de căldură şi electricitate şi rezistente la tracţiune şi compresiune.

Se obţin din materii prime solide (cărbune amorf, asfalt de petrol, fibre organice), lichide (gudron, petrol, uleiuri aromatice) sau gazoase (acetilenă, hidrocarburi) care se supun unui proces de combustie incompletă (piroliză controlată). Dacă arderea are loc la 1000…1500 ^oC se obţin fibre de înaltă rezistenţă, iar la 1.800…2.000 ^oC se obţin fibre cu module de elasticitate foarte bune.

Fibrele de carbon se utilizează în construcţia avioanelor militare şi a vehiculelor de înaltă performanţă (discuri de frână), a articolelor sportive (undiţe de pescuit, crose de golf, rachete de tenis, schiuri, arcuri de tir, cadre de biciclete), precum şi a filtrelor de gaze pentru temperaturi înalte.

c) – Fibrele de aramide provin din poliamide aromatice şi au fost introduse pe piaţă în 1973 de către firma DuPont, sub numele de *kevlar*. Sunt rezistente la tracţiune, la şoc şi la abraziune. De asemenea, sunt rezistente la foc şi la căldură (nu se topesc), precum şi la acţiunea solvenţilor organici.

Se folosesc în construcţii aeronautice cu aplicaţii militare, la fabricarea unor ambarcaţiuni uşoare sau piese pentru vapoare (cârme, catarge, rezervoare şi spărgătoare de valuri), la fabricarea vestelor antiglonţ şi a căştilor de protecţie.

d) – Fibrele de bor au fost obţinute în 1959 de firma Texaco din SUA şi utilizate pentru armarea unor compozite folosite de aviaţia militară. Ele au un miez de wolfram pe care se depune, prin vaporizare, un strat subţire de bor şi prezintă rezistenţe la rupere şi la compresiune foarte bune, precum şi un modul de elasticitate înalt şi o rezistenţă la oboseală excepţională.

Utilizarea lor este limitată de costul ridicat, de fragilitatea şi duritatea care au valori mari. Duritatea ridicată îngreunează prelucrările mecanice ulterioare care necesită scule armate cu diamant. Pentru înlăturarea acestor dezavantaje, fibrele de bor ce combină cu fibre de sticlă şi de carbon şi se utilizează în aviaţia militară (lonjeroane, voleţi, panouri de fuselaj) sau la fabricarea unor articole sportive de performanţă (rachete de tenis, undiţe de pescuit).

e) – Fibrele de cuarţ conţin 99,95…99,97 SiO_2 şi se obţin prin tragere din material topit la 1.800 ^oC. Sunt foarte rezistente la acţiunea agenţilor chimici şi a mediului înconjurător şi stabile termic până la 1000 ^oC, dar proprietatea cea mai

importantă a lor este rezistența la ablațiune. *Ablațiunea* este un fenomen fizic în urma căruia un corp care străbate atmosfera cu mare viteză (meteorit, satelit, navetă spațială) pierde din substanță datorită încălzirii sale până la incandescență prin frecare cu aerul. Ca urmare, fibrele de cuarț se utilizează la armarea unor materiale din care se construiesc scuturile de ablațiune pentru protecția navelor cosmice.

În afară de fibrele de ranforsare prezentate mai sus, pentru armarea materialelor compozite se mai utilizează fibre de alumină, azbest, carbură de siliciu sau chiar vegetale (celuloză, bumbac, iută, in, hârtie).

Fibrele pentru armarea compozitelor sunt supuse înainte de încorporarea în matrice unei ungeri cu un amestec de substanțe cleioase şi antistatice în următoarele scopuri: compatibilizarea fibrelor cu matricea; rigidizarea fibrelor în vederea manipulării uşoare; protecție contra deteriorării superficiale prin frecare reciprocă sau cu piese metalice; împiedicarea apariției sarcinilor electrostatice prin frecare.

În tabelul 3.7 sunt prezentate caracteristicile fizico-mecanice ale principalelor fibre de ranforsare a materialelor compozite.

3.5.2.2.2. Matricele. Matricea are două scopuri principale: să transmită solicitările mecanice fibrelor de ranforsare şi să asigure protecția acestora la acțiunea mediului înconjurător. Pentru îndeplinirea acestor scopuri, matricea trebuie să adere la fibre, să fie ductilă şi să aibă o bună rezistență la fluaj.

După natura lor, matricele se clasifică după schema din fig.3.34.

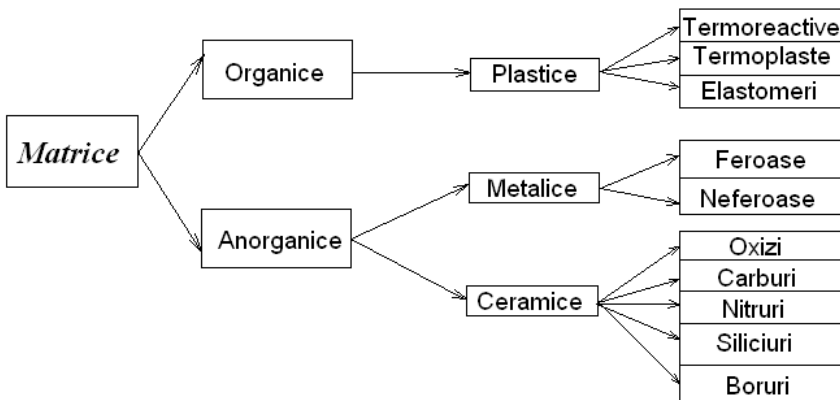


Fig.3.34. Clasificarea matricelor.

A) – Matricele plastice au proprietăți mecanice mai slabe decât cele metalice sau ceramice, dar se pot prelucra la temperaturi mai joase şi astfel pericolul de distrugere a fibrelor de ranforsare dispare. De asemenea, ele se obțin mai uşor şi costă mai puțin decât metalele şi ceramicele. Dezavantajul lor major este că nu se pot utiliza la temperaturi mai mari de 200 °C. Matricele organice sunt cele mai răspândite, reprezentând circa 75% din totalul matricelor folosite.

Tabelul 3.7. **Proprietăţile fizico-mecanice ale fibrelor de ranforsare**

Proprietăţi / Materialul	Diametrul [µm]	Masa volumică [g/cm^3]	Rezistenţa la rupere [MPa]	Rezistenţa la compresiune [MPa]	Alungirea la rupere [%]	Modulul de elasticitate longitudinal [MPa]	Coeficientul de dilatare termică [°C^{-1}]	Temperatura maximă de utilizare [°C]
Sticlă E[1]	16	2,54	3400	1200	4,8	73000	$0,5\cdot10^{-5}$	550
Sticlă R[2]	10	2,48	4400	1300	5,4	86000	$0,3\cdot10^{-5}$	650
Carbon HM[3]	6,5	1,80	2200	1300	0,6	390000	$0,08\cdot10^{-5}$	2000
Carbon HR[4]	7	1,78	2800	1800	1,3	230000	$0,02\cdot10^{-5}$	2500
Aramidă (kevlar)	12	1,45	3100	500	2,3	130000	$0,2\cdot10^{-5}$	200
Bor	100	2,63	3500	3500	0,8	400000	$0,4\cdot10^{-5}$	700
Cuarţ	8,9	2,19	3200	3200	5	77000	$0,54\cdot10^{-5}$	750

Observaţii: 1 MPa = 1 N/mm^2; [1]*Sticla E* – sticlă pentru compozite obişnuite; [2]*Sticla R* – sticlă pentru compozite cu performanţe ridicate; [3]*Carbon HM* – carbon pentru fibre cu modul de elasticitate ridicat; [4]*Carbon HR* – carbon pentru fibre cu rezistenţă mecanică mare.

a) – Materialele plastice termoreactive au o structură tridimensională şi prin încălzire se înmoaie şi se fasonează în forma dorită, dar nu se mai pot recicla, fiind infuzibile şi insolubile, datorită încheierii polimerizării în timpul încălzirii şi prelucrării. Aceste materiale se mai numesc *răşini*, cele mai importante fiind:

♦ *Răşinile poliesterice* sunt translucide, cu rezistență chimică bună, se prelucrează uşor, rezistă până la 150 ^{o}C şi sunt ieftine.

Ca dezavantaje se menționează că sunt inflamabile, se contractă mult (6…15%) şi emit stiren. Se armează cu fibre de sticlă, iar compozitele obținute se utilizează la temperaturi obişnuite.

♦ *Răşinile vinilesterice* sunt înrudite cu poliesterii, se armează cu fibre de sticlă, au o bună rezistență la oboseală şi o excelentă rezistență la coroziune, dar sunt inflamabile. Compozitele din vinilester armat cu fibre de sticlă se folosesc la fabricarea țevilor de canalizare şi a rezervoarelor pentru produse chimice.

♦ *Răşinile epoxidice* au proprietăți mecanice, termice şi chimice bune, contracţie scăzută, o excelentă aderență la fibre şi se prelucrează uşor în produse.

În acelaşi timp, sunt sensibile la umiditate, la razele ultraviolete şi la şocuri, îmbătrânesc sub acțiunea căldurii şi au un preț ridicat.

Prin ranforsarea răşinilor epoxidice cu fibre de sticlă, de carbon sau de kevlar se obțin compozite utilizate la fabricarea palelor de elicopter, cisternelor şi conductelor pentru produse corosive sau a unor materiale sportive.

♦ *Răşinile fenolice* sunt rezistente la căldură (până la 150 ^{o}C) şi la foc şi au stabilitate chimică, dar sunt fragile, sensibile la umiditate şi dificil de colorat şi de fasonat.

♦ *Răşinile poliuretanice* au stabilitate chimică bună, nu îmbătrânesc şi sunt uşor de fasonat, însă au rezistență mecanică redusă, ard şi se colorează dificil.

b) – Materialele termoplaste sunt polimeri cu structură liniară, foarte răspândite şi ieftine care încep să fie utilizate ca matrice ale materialelor compozite datorită următoarelor avantaje: se pot recicla prin topire sau solubilizare; ciclul de fabricație este scurt iar fasonarea, uşoară; au o durată de folosire nelimitată şi nu reclamă condiții speciale de stocare. Utilizarea lor este limitată de rezistența termică scăzută (sub 150 ^{o}C) şi de aderența mai slabă la fibrele de ranforsare.

Principalele matrice termoplaste sunt:

- *polipropilena* (PP): destul de stabilă termic (110 ^{o}C), rezistentă chimic şi ieftină, dar nu rezistă la şocuri şi arde;
- *polisulfona* (PSU): stabilitate chimică foarte bună şi rezistentă la hidroliză (reacție chimică cu apa, în prezența unui catalizator), la fluaj şi la căldură (până la 180 ^{o}C) şi caracteristici de izolare electrice bune, dar este higroscopică (absoarbe cu uşurință apa din atmosferă);
- *poliamida* (PA) este rezistentă la şoc, la oboseală şi la acțiunea hidrocarburilor, dar şi puternic higroscopică;
- *policarbonatul* (PC) are rezistență mecanică ridicată, rigiditate bună, rezistență la şoc, la unsori şi uleiuri, fiind atacat de benzen şi de soluțiile alcaline;
- *poliesterii liniari* numiți *politeraftalat etilenic* (PET) şi *butilenic* (PBT) au proprietăți mecanice bune, nu absorb apa, nu se dilată termic şi sunt buni izolatori

electrici, dar nu rezistă la apă fierbinte, abur, acetone, solvenţi halogenici, alcalii tari sau soluţii acide.

c) – Elastomerii sunt materiale polimerice cu elasticitate ridicată, suportând deformări de peste 100%, aproape total reversibile. Toţi elastomerii sunt organici, cu excepţia siliconului care este de natură minerală. Ei conţin 50…60% polimeri, restul fiind materiale de umplutură, agenţi de vulcanizare, acceleratori, produse pentru întârzierea îmbătrânirii şi alţi aditivi care asigură obţinerea scopului urmărit.

Elastomerii sunt incompresibili sau foarte puţin compresibili, având coeficientul lui Poisson[4] în jur de 0,50, utilizându-se la fabricarea garniturilor de etanşare. Datorită elasticităţii ridicate, se mai utilizează la fabricarea tălpilor de încălţăminte pentru atleţi sau a mingilor de pelotă (sport tradiţional din Ţara Bascilor).

În practică, se utilizează ca matrice următorii elastomeri:

♦ *Cauciucul natural* (NR) se obţine din arborele de cauciuc (*Hevea brasiliensis*), sub forma unui suc lăptos de culoare albă-gălbuie, numit latex care se coagulează şi se usucă, obţinându-se cauciucul brut. Acesta are proprietăţi mecanice slabe, se dizolvă în solvenţii organici şi datorită acestor cauze nu se poate utiliza în industrie. Pentru obţinerea unor proprietăţi fizico-mecanice corespunzătoare, cauciucul brut se vulcanizează, prin amestecare cu 2…12% sulf şi încălzire la 120…150 ^{o}C.

La prepararea cauciucului industrial se mai utilizează acceleratori de vulcanizare pentru reducerea duratei de fabricare şi coborârea temperaturii de vulcanizare (ZnO, P_2O_5), ingrediente active pentru creşterea rezistenţelor la rupere şi uzură (negru de fum, $MnCO_3$), ingrediente pasive pentru reducerea costului (cretă, baritină, talc), plastifianţi pentru îmbunătăţirea capacităţii de prelucrare (acid stearic, parafină, acid oleic), antioxidanţi pentru împiedicarea îmbătrânirii (amine şi diamine aromatice), coloranţi şi cauciuc regenerat. Acesta are rezistenţă la oboseală ridicată, elasticitate şi rezistenţă bună la abraziune, absoarbe puţină umiditate şi se umflă în ulei mineral, unsori şi gazolină. Se poate utiliza până la 80 ^{o}C.

♦ *Cauciucul sintetic* (IR) se obţine prin polimerizarea unor monomeri nesaturaţi cu două duble legături (izopren, butadienă, cloropren, metilpropenă) cu sau fără adaosuri de alţi derivaţi nesaturaţi. Aceşti monomeri sunt amestecaţi în diferite proporţii şi copolimerizaţi, în funcţie de caracteristicile fizice, mecanice sau chimice pe care trebuie să le îndeplinească produsul obţinut.

♦ *Cauciucul stiren-butadienă* (SBR) se obţine prin copolimerizarea stirenului şi butadieni şi are rezistenţele la abraziune şi la îmbătrânire mai bune ca ale cauciucului natural, se utilizează până la 100 ^{o}C, dar este mai puţin elastic.

♦ *Cauciucul policloroprenic* (CR) se obţine prin polimerizarea cloropre-

---

[4] *Siméon-Denis POISSON* (1781-1840) – matematician şi fizician francez şi unul din creatorii fizicii matematice. Contribuţii în domeniile mecanicii cereşti, ecuaţiilor fizicii matematice, hidromecanicii, electrostaticii, calculului probabilităţilor (*Teoria analitică a probabilităţilor*), mecanicii teoretice (*parantezele lui Poisson*) şi teoriei elasticităţii (*ecuaţia lui Poisson*). *Coeficientul lui Poisson* (ν) caracterizează contracţia unui material elastic asupra căruia acţionează o forţă axială, fiind egal cu raportul dintre contracţia transversală unitară şi alungirea axială unitară.

nului şi rezistă mai bine la umezeală, la ulei, la unsori şi la ozon decât cauciucul natural, dar este mai puțin elastic şi este atacat de apa fierbinte şi de combustibili.

♦ *Cauciucul acronitril-butadienă* (NBR) sau *cauciucul nitrilic* se obține prin copolimerizarea nitrilului acrilic şi butadienei şi este rezistent la abraziune şi îmbătrânire, foarte rezistent la uleiuri şi hidrocarburi alifatice, dar este mai puțin elastic şi nu rezistă la temperaturi scăzute şi la acțiunea lichidului de frână.

♦ *Cauciucul butilic* (IIR) se obține prin copolimerizarea izobutadienei şi izoprenului, are o mică permeabilitate la gaze şi caracteristici de izolare electrică foarte bune, rezistă la vapori fierbinți şi la apă, rezistă la îmbătrânire, dar are elasticitate scăzută şi nu rezistă la uleiuri, unsori şi combustibili.

B) – Matricele metalice reprezintă circa 10% din matricele utilizate la fabricarea materialelor compozite şi au apărut la începutul anilor 1960 în SUA şi Franța, cu aplicații în industria aerospațială. În anii 1980, japonezii le-au aplicat la fabricarea automobilelor. Fabricarea compozitelor cu matrice metalice este destul de dificilă, având în vedere asigurarea coeziunii acestora cu fibrele de ranforsare.

Matricea trebuie adusă în stare lichidă sau semisolidă, astfel încât să aibă fluiditatea necesară infiltrării şi, în acelaşi timp, să aibă o temperatură care să nu deterioreze fibrele de ranforsare şi să nu reacționeze metalurgic cu ele.

Matricele metalice sunt ductile şi tenace, rezistă la uzură şi la temperaturi mari (până la 600 ^{o}C) şi la acțiunea solvenților, având în general proprietățile fizico-mecanice şi chimice specifice materialelor metalice. În acelaşi timp, ele sunt mai scumpe şi mai grele şi prezintă pericolul reacționării cu fibrele de ranforsare prin solubilizare, ceea ce conduce la apariția unor compuşi intermetalici fragili care antrenează dezlipirea interfeței. Cele mai răspândite matrice metalice sunt aluminiul, magneziul, titanul şi aliajele acestora.

a) – Aluminiul este materialul cel mai folosit ca matrice metalică datorită densității mici şi prețului accesibil. El se foloseşte pentru fabricarea compozitelor armate cu fibre de bor şi carbon, SiC, B_4C, ZrO_2 şi kevlar, utilizate în industria aerospațială şi la motoarele de automobile.

b) – Magneziul este cu 55% mai uşor decât aluminiul, are stabilitate chimică, precum şi un coeficient de dilatare stabil într-un interval mare de temperaturi. Se utilizează la fabricarea compozitelor armate cu fibre de carbon, bor sau SiC.

c) – Titanul este un metal uşor, cu temperatură înaltă de topire (1668 ^{o}C), proprietăți mecanice foarte bune şi stabilitate chimică, dar este scump. Se foloseşte la fabricarea compozitelor armate cu fibre de bor şi SiC.

C) – Matricele ceramice reprezintă circa 15% din matricele folosite la fabricarea compozitelor şi se utilizează datorită unor proprietăți specifice: rezistență la temperatură (până la 2.000 ^{o}C), rigiditate, duritate şi stabilitate chimică. Fibrele de adaos au ca scopuri îmbunătățirea tenacității compozitelor, precum şi a rezistenței lor la şocuri termice.

Dezavantajele matricelor ceramice sunt fragilitatea ridicată şi prelucrarea dificilă. Ele sunt transformate în pulberi foarte fine, cu ajutorul plasmei sau prin depunerea chimică din fază de vapori, iar din micropulberi se obțin paste. În acest

scop, se utilizează o gamă largă de oxizi simpli sau complecşi, nitruri, carburi, siliciuri sau boruri (Al_2O, SiC, Si_3N_4, BN, B_2O, ThO_2, ZrO_2, TiC).

Materialele compozite cu matrice ceramice sunt scumpe şi se utilizează în domenii de înaltă tehnicitate şi la temperaturi ridicate (construcţii aerospaţiale şi nucleare, aplicaţii militare, frâne ceramice).

În tabelul 3.8 sunt prezentate caracteristicile fizico-mecanice ale principalelor matrice care intră în componenţa materialelor compozite.

3.5.2.3. Materiale compozite structurale. Materialele compozite structurale cuprind compozitele stratificate şi compozitele sandviş, utilizându-se îndeosebi în construcţiile aerospaţiale care trebuie să fie rezistente şi uşoare.

a) – Materialele compozite stratificate sunt formate din mai multe straturi de materiale cu proprietăţi anizotrope care formează un tot unitar. Exemplul cel mai la îndemână îl constituie vasele emailate. Emailul este format dintr-un amestec de oxizi şi silicaţi care, în prezenţa unor fondanţi (sodă, borax), se topeşte şi se toarnă într-un strat sau în mai multe straturi pe vasele din fontă sau tablă din oţel, la 900 ^oC şi se întăreşte vitros. Legătura email-metal necesită aderenţă bună şi coeficienţi de dilatare termică apropiaţi.

Pentru creşterea aderenţei se adaugă oxizi de fixare (CoO şi NiO), iar pentru evitarea apariţiei tensiunilor de întindere declanşatoare de fisuri, coeficientul de dilatare termică al emailului trebuie să fie puţin mai mic decât cel al metalului, ceea ce asigură formarea unor tensiuni de compresiune. Componentele materialului structural preiau funcţiuni diferite: metalul asigură rezistenţa mecanică, iar emailul, rezistenţa la coroziune şi aspectul decorativ.

Materialul compozit stratificat (fig.3.35) este alcătuit din mai multe plăci orientate diferit, între care se introduc răşini termoreactive şi prin încălzire şi presare sau laminare se obţine produsul dorit. Fibrele unei plăci pot fi orientate perpendicular faţă de cele ale plăcii anterioare sau sub alte unghiuri, astfel că materialul compozit prezintă o mare rezistenţă la acţiunea forţelor exterioare.

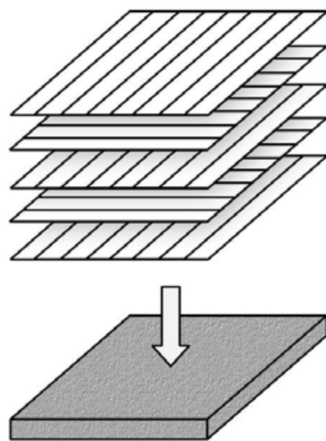


Fig. 3.35. Reprezentarea unui compozit stratificat.

b) – Materialele compozite de tip sandviş sunt alcătuite din două straturi de material foarte rezistent, între care este intercalată o inimă de material cu densitate, rezistenţă şi rigiditate mici. Straturile sau feţele exterioare, fabricate din aliaje de aluminiu, răşini ranforsate cu fibre, oţel sau titan, preiau sarcinile exterioare, iar inima, din materiale polimerice celulare, cauciuc sintetic sau lemn de balsa (lemn foarte uşor provenit dintr-un arbore tropical), se opune deformaţiilor şi forţelor de forfecare perpendiculare pe cele două feţe. Rezultă astfel un material foarte uşor, cu densitatea de circa 100 kg/m^3,

Tabelul 3.8. **Proprietăți fizico-mecanice ale matricelor**

Materialul matricei		Simbol	Caracteristica						
			Masa volumică [kg/m³]	Modulul de elasticitate longitudinal [MPa]	Modulul de forfecare [MPa]	Coeficientul lui Poisson	Rezistența de rupere la tracțiune [MPa]	Alungirea la rupere [%]	Coeficientul de dilatare termică [°C⁻¹]
Materiale termoreactive	Rășină poliesterică	UP	1300	3800	1400	0,4	88	2,5	$8 \cdot 10^{-5}$
	Rășină vinilesterică	VE	1150	3300		0,35	75	4	$5 \cdot 10^{-5}$
	Rășină epoxidică	EP	1200	4500	1600	0,4	130	2	$11 \cdot 10^{-5}$
	Silicon	SI	1550	2200		0,5	35	100	
	Rășină fenolică	PF	1350	3000	1100	0,36	70	2,5	$1 \cdot 10^{-5}$
	Rășină poliuretanică	PU	1100	700-7000			30	100	
	Rășină poliimidică	PI	1300	4000-19000	1100	0,35	70	1	$8 \cdot 10^{-5}$
Materiale termoplaste	Polipropilenă	PP	900	1200		0,4	30	20-400	$9 \cdot 10^{-5}$
	Polisulfonă	PSU	1300	4000			65	100	$5 \cdot 10^{-5}$
	Poliamidă	PA	1100	2000		0,35	70	200	$8 \cdot 10^{-5}$
	Polietersulfonă	PES	1350	3000			85	60	$6 \cdot 10^{-5}$
	Polieterimidă	PEI	1150	3300			105	60	$6 \cdot 10^{-5}$
	Polieteretercetonă	PEEK	1300	4000			90	50	$5 \cdot 10^{-5}$
Metale	Aluminiu	Al	2360	69000		0,33	358	23	
	Magneziu	Mg	1660	42000		0,30	280	25	
	Oțel	XC10	7850	210000		0,29	1000	10	

flexibil şi lejer care este şi un foarte bun izolator termic şi fonic.

S-au realizat, de asemenea, şi materiale compozite de tip sandviş cu inimă alveolară (fig.3.36). Alveolele *1* sunt construite din hârtie impregnată cu răşini, polimeri ranforsați cu fibre de sticlă sau aliaje de aluminiu. Fețele *2* se lipesc de alveole cu straturile de adeziv *3*. Alveolele sunt asemănătoare fagurilor din stupi, având forme hexagonale sau rombice. Se obține astfel produsul *4*, utilizat în construcții navale şi aeriene (pereți interiori, punți şi planşee), pentru protecția contra razelor *X* şi undelor radio, precum şi în aplicații militare (avioane „invizibile" şi dragoare de mine care nu pot fi detectate cu radarele).

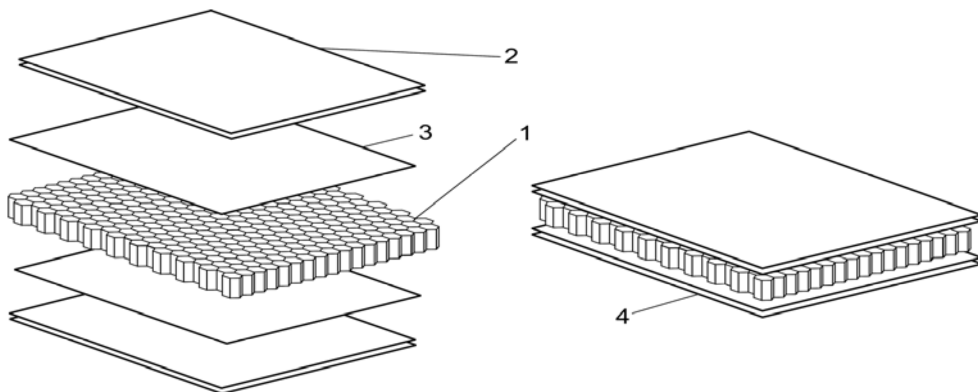


Fig.3.36. Compozit de tip sandviş cu inimă alveolară.

Aceste proprietăți se obțin printr-o alegere riguroasă a materialelor componente, precum şi prin utilizarea elementelor de calcul finit în asocierea şi îmbinarea acestora.

3.5.2.4. Alte tipuri de materiale compozite (lemnul şi betonul).

3.5.2.4.1. Lemnul este un material compozit natural, cu structură complexă, alcătuită din 40…50% fibre de celuloză, 20…30% lignină, 15…25% hemiceluloză şi din alte substanțe organice (polizaharide, răşini, tananți, coloranți, ceară, alcaloizi). Fibrele de celuloză constituie materialul de ranforsare, iar lignina este matricea care încorporează fibrele şi vasele capilare, făcându-le impermeabile, inextensibile şi rigide. Hemiceluloza este un amestec complex de polizaharide şi gume vegetale care reacționează cu apa.

Proprietățile fizico-mecanice ale lemnului depind de esență, grad de uscare, vârstă şi locul ocupat în tulpină. El are o reziliență bună, este rezistent la tracțiune şi la compresiune, elastic, uşor, bun izolator termic şi electric, se prelucrează uşor şi are un aspect estetic. În acelaşi timp, are o structură neomogenă, este atacat de ciuperci şi de insectele xilofage (cari şi termite), are rezistențe mici la forfecare şi la despicare şi se aprinde uşor.

Lemnul se poate utiliza atât în stare naturală, cât şi sub formă de produse obținute prin diverse procedee. Lemnul brut se utilizează pentru foc, în construcții, în minerit, pentru traverse de cale ferată, la fabricarea celulozei şi pentru chimizare, sub formă de lemn rotund (bile, manele, stâlpi, lemn rotund de mină, piloți,

bulumaci), cherestea (scânduri, dulapi, şipci, rigle, grinzi) şi material lemnos pentru pardoseli (duşumele, frize, parchet). Ca materiale prelucrate se utilizează furnirul, placajul, parchetul stratificat, panelul, plăcile aglomerate şi plăcile fibrolemnoase.

a) – Furnirul este o foaie de lemn cu grosimea de 0,2…6 mm care se obține prin tăierea plană (fig. 3.37.a) sau prin rotirea unui butuc în fața unui cuțit care este paralel cu axa butucului (fig. 3.37.b). Pentru fabricarea furnirelor, buştenii sunt supuşi unor operații de secționare cu ferăstraie, cojire şi tratare termică prin încălzire cu aburi, pentru mărirea elasticității. De obicei, pentru fabricarea furnirului, se întrebuințează esențe nobile: lemn de trandafir, nuc, mahon, stejar, frasin, platan etc. El se utilizează la placarea mobilei confecționate din conifere sau plop, formând desene, imagini sau motive diverse. Pentru lipire se folosesc cleiuri de albumină sau cazeină, precum şi răşini sintetice.

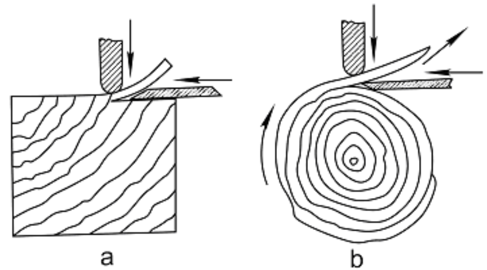


Fig. 3.37. Metode de fabricare a furnirului.

b) – Placajul este un semifabricat obținut prin îmbinarea unui număr impar de foi de furnir care se suprapun astfel încât direcția fibrelor unei plăci să fie perpendiculară pe direcția fibrelor plăcii următoare. Această aşezare a plăcilor conferă placajului proprietăți deosebite: rezistențe foarte bune la întindere şi la despicare, nu se umflă sub acțiunea umezelii şi nu crapă sub acțiunea căldurii.

Plăcile de furnir din care se confecționează placajul au grosimi de 0,5…2 mm şi se încleiază cu diverşi adezivi (răşini fenolformaldehidice, melamină, resorcină), pe maşini de încălzit şi presat. El se utilizează în construcții şi pentru amenajări interioare. Pentru destinații speciale se fabrică placaj armat, prin intercalarea între foile de furnir a unor țesături textile sau metalice, sau placaj blindat, prin acoperirea acestuia cu plăci metalice. Placajul blindat se utilizează la fabricarea caroseriilor, ambarcațiunilor şi planoarelor.

c) – Parchetul stratificat este alcătuit din trei plăci de lemn, cu grosimea totală de 15…20 mm, care se suprapun şi se încleiază, astfel încât direcțiile fibrelor lemnoase să alterneze. Plăcile inferioare sunt din răşinoase, iar cea superioară, din esențe nobile (stejar, salcâm, nuc, cireş, mahon, tec). Parchetul se montează uşor, printr-o îmbinare nut şi feder şi este finisat cu lac poliacrilic, rezistent la umezeală şi la uzură.

d) – Panelul este un semifabricat alcătuit dintr-un miez de şipci acoperite pe ambele fețe, prin încleiere, cu câte o placă de furnir, aşezate cu fibrele perpendiculare pe direcția fibrelor miezului. Şipcile pot fi neîncleiate pe suprafețele lor de contact, încleiate parțial sau total. Se utilizează la confecționarea pereților interiori ai autovehiculelor, vagoanelor şi navelor.

e) – Plăcile aglomerate din lemn (***PAL***) au fost obținute întâmplător, în 1966, în SUA, ca urmare a unui incident tehnic. Ele se obțin prin presarea la cald a

aşchiilor de foioase sau răşinoase, cu dimensiuni de 5…40 mm, care provin din arbori ce nu se pot valorifica prin alte procedee. Aşchiile se amestecă intim cu adezivi (uree-formol sau melamină-formol), precum şi cu substanțe ignifuge, hidrofuge sau insecticide. Plăcile pot fi furniruite, emailate sau melaminate şi se utilizează pentru amenajări sau decoraţiuni interioare, precum şi în industria mobilei. Ele sunt mai ieftine decât lemnul natural, au proprietăți izotrope (uniforme în toate direcţiile), au un aspect plăcut şi se lucrează la diverse grosimi.

f) – Plăcile fibrolemnoase (***PFL***) sunt materiale obținute prin presarea unor fascicule de fibre vegetale, rezultate prin defibrilarea mecanică sau semichimică a lemnului de esență moale, împâslite şi încleiate cu 5% adezivi. Plăcile au aspect omogen, bune proprietăți mecanice, de izolare termică şi fonică şi o sensibilitate mai redusă față de apă. Ele se pot înnobila prin emailare, lăcuire sau melaminare.

3.5.2.4.2. Betonul este un material de construcții compozit, obținut prin amestecarea unor agregate (nisip, pietriş, piatră spartă) cu liant (ciment, bitum) şi cu apă şi care, după întărire, capătă aspect de piatră artificială. Betonul are o densitate mare şi este foarte compact, pentru că spațiile dintre particulele mai mari sunt ocupate de particule mai mici, iar cele rămase sunt ocupate de ciment. De obicei, agregatele reprezintă 80% din masa betonului, cimentul 20%, iar apa, 25% din greutatea cimentului. Apa este necesară reacției de hidratare a cimentului, iar în timpul întăririi betonului, ea se evaporă, lăsând pori şi canale capilare. După 7 zile de priză, betonul are 75% din rezistența mecanică finală, iar după 28 de zile, 80%. Viteza de întărire poate fi accelerată prin încorporarea unor aditivi (1,5…3% clorură de calciu), prin folosirea unui ciment aluminos sau ridicând temperatura în timpul întăririi la 50…90 ^{o}C.

Betonul a fost cunoscut în antichitate, romanii fabricându-l din oxid de calciu, cenuşă vulcanică şi piatră ponce. Secretul fabricării acestuia s-a pierdut timp de 13 secole, până în 1756, când inginerul britanic John Smeaton[5] l-a redescoperit şi l-a utilizat la construcţia unui far, folosind blocuri de granit. Pornind de la această realizare, constructorul englez Joseph Aspdin[6] a inventat, în 1824, cimentul Portland care se foloseşte şi astăzi la fabricarea betonului.

Principala proprietate mecanică a betonului este rezistența la compresiune care variază între 25…50 MPa, în cazul betoanelor produse pe şantier, şi 200…500 MPa, în cazul betoanelor cu înalte performanțe, fabricate în laborator. Rezistența la tracțiune este scăzută, reprezentând doar 10…15% din rezistența la compresiune. Modul de elasticitate este bun (30…50 GPa), coeficientul de dilatare termică este mic, iar conductibilitatea termică, slabă. Din punct de vedere chimic, este atacat de apa de mare, de bioxidul de carbon şi de unele bacterii anaerobe. Betonul este materialul cel mai folosit în lume, producția mondială fiind de circa 7,5 km^3/an,

---

[5] *John SMEATON* (1724-1792) – inginer mecanic şi fizician englez, părintele ingineriei civile. A proiectat şi construit poduri, canale, faruri şi porturi şi a efectuat cercetări în domeniul hidraulicii şi al motoarelor cu aburi.

[6] *Joseph ASPDIN* (1778-1855) – constructor britanic care a obținut brevetul pentru cimentul Portland la 21 octombrie 1824, fabricat prin calcinarea unui amestec de calcar şi argilă, calcarul fiind extras dintr-o carieră aflată în peninsula Portland de la Marea Mânecii.

ceea ce înseamnă peste un metru cub pentru fiecare locuitor al Pământului.

Clasificarea betoanelor se face după criteriile prezentate în fig. 3.38.

a) – Betonul simplu se utilizează pentru realizarea elementelor de construcții supuse la compresiune, cum sunt fundațiile sau postamentele pentru maşini şi instalații, caracterizându-se printr-o rezistență mică la întindere.

b) – Betonul armat este un material compozit care îmbină rezistența la compresiune a betonului cu rezistența la tracțiune a oțelului. Oțelul aderă bine la beton, aderența putând fi mărită prin profilarea suprafeței sale. El este protejat contra coroziunii printr-o încastrare adecvată în beton.

Betonul armat se utilizează în construcții (grinzi, stâlpi, planşee), la realizarea digurilor, barajelor şi zidurilor de sprijin, precum şi a stâlpilor de iluminat şi stâlpilor pentru transportul energiei electrice. Se mai utilizează la construcția podurilor, silozurilor, rezervoarelor şi a altor construcții industriale.

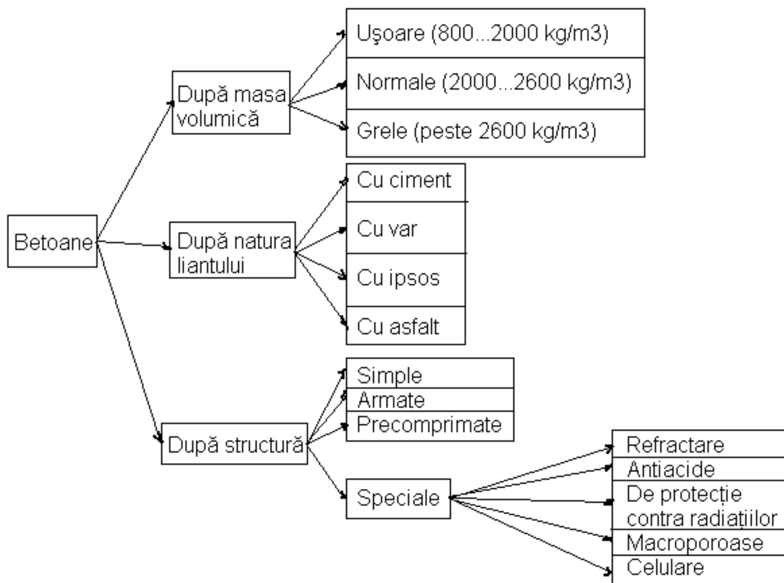


Fig. 3.38. Clasificarea betoanelor.

c) – Betonul precomprimat este un beton armat cu cabluri, vergele sau corzi, întinse şi ancorate la capetele elementelor care creează o stare permanentă de compresiune a betonului, superioară solicitărilor ulterioare de întindere. În felul acesta, eforturile de întindere sunt anulate sau mult micşorate.

Ideea a fost pusă în practică în 1928 de inginerul francez Eugène Freyssinet[7] şi astăzi se aplică îndeosebi în construcția podurilor şi grinzilor cu deschideri mari.

[7] *Eugène FREYSSINET* (1879-1962) – inginer francez constructor de poduri, viaducte, baraje şi biserici. În 1928 a patentat betonul precomprimat utilizat la construcția stâlpilor pentru transportul energiei electrice.

d) – Betonul bituminos este alcătuit din pietriş mărunt (mărgăritar), nisip şi filer (praf de calcar şi var stins), având ca liant bitumul. El se foloseşte ca strat de uzură pentru asfaltul şoselelor şi se toarnă la 150 ^{o}C, efectul de priză manifestându-se când temperatura lui scade sub 90 ^{o}C. Atunci se realizează compactizarea cu ajutorul unui cilindru-compresor. Întrucât bitumul este atacat de hidrocarburile care constituie combustibilii autovehiculelor, locurile expuse acestora sunt asfaltate cu un beton în care bitumul este înlocuit cu gudron. Betonul cu gudron, numit şi *tarmacadam*, se foloseşte şi pe aeroporturi.

e) – Betoanele speciale se folosesc în construcții cu condiții speciale de funcționare (temperaturi ridicate, medii acide sau radioactive) sau ca izolatoare termice şi fonice. Acestea sunt:

- *betonul refractar* este alcătuit din agregate refractare şi ciment aluminos şi îşi păstrează, în anumite limite, proprietățile fizico-mecanice şi la temperaturi înalte (până la 1.800 ^{o}C), utilizându-se la construcția agregatelor termice, cazanelor, coşurilor de fum şi a altor construcții care funcționează la temperaturi ridicate;
- *betonul antiacid* este rezistent la acțiunea acizilor anorganici, înlocuind materialele antiacide scumpe şi deficitare (plumb, ceramică antiacidă, piatră naturală);
- *betonul de protecție contra radiațiilor* este un beton greu a cărui densitate poate ajunge la 6000 kg/m^3 şi care se utilizează contra razelor γ şi neutronilor, folosindu-se la reactoarele nucleare şi la adăposturile antiatomice;
- *betonul macroporos* este un beton cu agregate compacte sau poroase, fără nisip, iar cantitatea de ciment şi apă se dozează astfel încât fiecare granulă să fie învelită cu o peliculă fină de ciment, fără ca golurile dintre granule să fie umplute, utilizându-se la realizarea straturilor termoizolatoare sau ca material de umplutură;
- *betonul celular* este un beton uşor (400 kg/m^3) care conține substanțe spumogene şi generatoare de gaze, astfel încât să rezulte o structură cu o mare cantitate de pori (până la 80% din volum). Conductibilitatea termică a betoanelor celulare este scăzută, ca de altfel şi rezistența la compresiune, astfel că ele nu se pot utiliza în structuri de rezistență, ci numai la zidării despărțitoare sau ca elemente termoizolatoare pentru placarea pereților camerelor frigorifice.

3.5.3. Prelucrarea materialelor compozite

Prelucrarea materialelor compozite în piese sau semifabricate se face prin mai multe procedee, ținând cont de proprietățile fizico-mecanice, chimice sau tehnologice ale acestora, precum şi de natura matricelor şi felul materialelor de ranforsare: formare manuală, turnare, laminare, presare şi înfăşurare.

3.5.3.1. Formarea manuală. Formarea manuală este cea mai veche tehnologie de prelucrare a materialelor compozite, aplicându-se şi astăzi la piese de dimensiuni mari, precum şi în producția de serie mică şi de unicate, când nu se justifică investiții inițiale mari: subansambluri pentru avioane (aripi, ampenaje, mobilier), panouri şi mobilier pentru vagoanele de călători, capote de automobile, învelişuri exterioare pentru ambarcațiuni.

a) – Formarea manuală prin contact (fig. 3.39) constă în realizarea unei

matrițe *1* din ipsos, lemn moale, material plastic sau aliaje metalice uşoare, cu suprafața foarte curată, care se acoperă cu un strat subțire de vaselină, pentru a permite decofrarea uşoară a piesei. Piesa *2* se formează prin aplicarea unor straturi suprapuse de materiale de ranforsare şi răşini, cu ajutorul pensulei de impregnare *3* şi al rolei *4*. Operația se repetă până se obține grosimea dorită. Pentru accelerarea întăririi se pot folosi radiații infraroşii, fără însă a depăşi 60…80 ^{o}C.

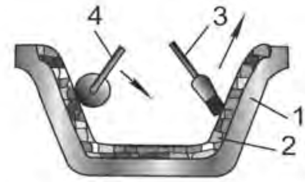


Fig. 3.39. Formarea manuală prin contact.

Procedeul este neproductiv şi costisitor, dar singurul care se poate aplica în cazul unor piese de dimensiuni mari şi cu forme complicate. Pentru înlăturarea prelucrărilor mecanice ulterioare, matrița deschisă *1* trebuie prevăzută cu toate elementele geometrie care să asigure forma finală a piesei: nervuri, cavități, orificii şi raze de racordare.

b) – Formarea manuală prin stropire (fig. 3.40) înlătură consumul mare de muncă al formării prin contact şi se realizează mai rapid. Materialul compozit (armătură, matrice, accelerator şi stabilizator) este adus cu o pompă în pulverizatorul *1*, în care intră şi aerul comprimat necesar pulverizării. Matrița *2*, aşezată pe masa *3* poate executa şase mişcări (S_x, S_y, S_z, ω_x, ω_y, ω_z), astfel încât stropirea să se realizeze în condiții cât mai bune. Matrița se acoperă inițial cu o peliculă decofrantă de vaselină, iar piesa *4* se obține din mai multe straturi de material compozit. Armătura este alcătuită din particule, fulgi sau fibre tocate, iar matricea este un polimer fluid. În amestec se mai introduc acceleratori, pentru stimularea reacțiilor de polimerizare, stabilizatori pentru protecție la oxidare, la lumină şi pentru ignifugare, precum şi materiale de umplutură, pentru scăderea prețului materialului compozit.

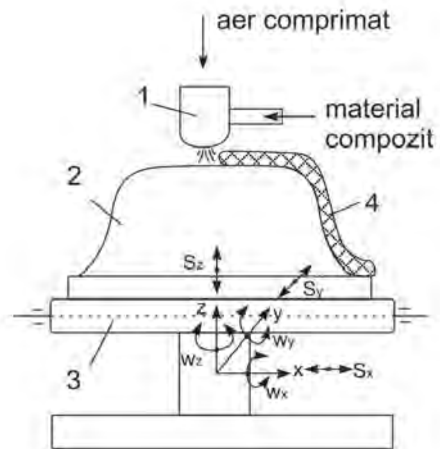


Fig. 3.40. Formarea manuală prin stropire.

Metoda este mai productivă decât precedenta, putând fi automatizată, dar are şi ea dezavantajul că nu se poate obține o grosime uniformă a pereților piesei.

3.5.3.2. Turnarea. Turnarea este procedeul tehnologic de obținere a pieselor prin solidificarea materialului metalic compozit în cavitatea unei forme. În practică, se întâlnesc mai multe metode de turnare: în forme temporare din amestec de formare, în forme-coji, centrifugă, sub presiune şi continuă.

a) – Turnarea în forme temporare din amestec de formare este metoda cea mai simplă de obținere a pieselor şi constă în introducerea topiturii compozite

în cavitatea unei forme (fig. 3.41.a). Turnând aliajul topit prin canalul *1*, cavitatea formei *2* se umple, aerul fiind evacuat prin canalul *3*. Miezul *4* se foloseşte pentru obținerea golului în piesă. Semiforma inferioară *5* se asamblează cu semiforma superioară *6* cu ajutorul bolțurilor *7*. Greutatea *8* are rolul de a anihila presiunea formată în timpul turnării, prevenind ridicarea semiformei superioare. După solidificarea topiturii compozite, forma se distruge şi se recuperează piesa *9* (fig. 3.41.b). Amestecul de formare este alcătuit din 94…95% nisip cuarțos fin şi 5…6% silicat de sodiu care constituie liantul ce se întăreşte prin insuflare de CO_2. Cavitatea formei se acoperă cu o peliculă de răşină refractară pentru creşterea calității suprafeței piesei şi a preciziei dimensionale a acesteia.

Metoda se utilizează pentru turnarea unicatelor sau în producția de serie mică.

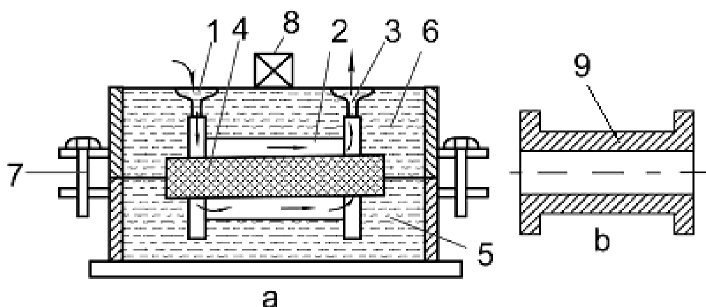


Fig.3.41. Turnarea în forme temporare din amestec de formare.

b) – Turnarea în forme-coji (fig. 3.42) conduce la o calitate a suprafețelor şi o precizie dimensională apropiate de cele ale piesei finite. Forma-coajă are 4…8 mm grosime şi este confecționată din nisip cuarțos fin, având ca liant bachelită sau novolac, conținând şi un accelerator de întărire. Întăritorul are scopul de a accelera procesul de întărire a liantului, utilizându-se în acest sens urotropină, care reprezintă 10% din cantitatea de liant. Forma-coajă este alcătuită din semiformele superioară *1* şi inferioară *2*, lipite la planul de separație (fig. 3.42.a). Topitura compozită se toarnă prin pâlnia *3*. Formele-coji asamblate se împachetează în cutii metalice care conțin nisip cuarțos cu granulație mare, pentru evitarea distrugerii lor în timpul turnării. După împachetare urmează turnarea, dezbaterea şi curățarea pieselor. Dezbaterea se face uşor, deoarece liantul termoreactiv arde în timpul turnării metalului topit, astfel că granulele de nisip se îndepărtează de pe piesa *4* (fig. 3.42.b) prin simplă scuturare.

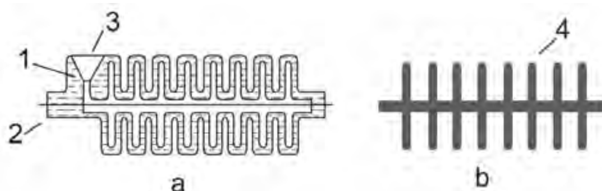


Fig. 3.42. Turnarea în forme-coji.

Metoda se utilizează în producție de serie mică, pentru piese de dimensiuni şi greutăți mici.

c) – Turnarea centrifugă (fig. 3.43) se aplică atât compozitelor cu matrice metalică (bucşe, pistoane, inele, discuri), cât şi celor cu matrice plastică (recipiente, tuburi, conducte), rezultând piese cu o structură densă, fără pori şi sufluri. Materialul compozit se toarnă din oala *1* în forma metalică *2* prin intermediul pâlniei *3*. Forma este închisă cu flanşa demontabilă *4* care nu permite curgerea materialului în exterior. Piesa *5* poate fi ranforsată cu țesături sau împletituri din fibre de sticlă, carbon sau kevlar, în cazul în care matricea este o răşină. În acest caz, pâlnia *3* este înlocuită cu o conductă perforată prin care se trimite sub presiune răşina fluidizată, în amestec cu elemente de catalizare şi acceleratori de reacție.

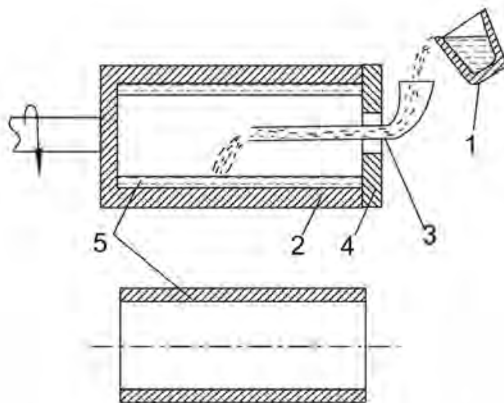


Fig. 3.43. Turnarea centrifugă.

Forma metalică este rotită (n = 1500…2000 rot/min), astfel că materialul topit ia forma matriței. Metoda se utilizează în producția de serie mare, dar nu este prea răspândită, din cauza proprietăților mecanice destul de slabe ale pieselor obținute.

d) – Turnarea sub presiune este un procedeu modern care permite obținerea unor piese complexe cu pereți subțiri, ce nu pot fi realizate prin alte procedee de turnare. Viteza mare de curgere, presiunea înaltă de formare şi solidificarea rapidă a compozitului permit obținerea unor piese cu armătură dispersată uniform în masa matricei metalice, ceea ce face ca rezistența materialului compozit să crească cu 25…45%. De asemenea, calitatea suprafețelor şi precizia dimensională a pieselor sunt foarte bune, astfel că de multe ori nu mai sunt necesare prelucrări mecanice ulterioare.

În fig. 3.44 este prezentată schema de principiu a turnării sub presiune. Compozitul din vasul *1* este menținut în stare topită cu ajutorul rezistențelor electrice *2*. La cursa ascendentă a pistonului *4*, supapa *5* se deschide şi în cilindrul *3* este admis compozit topit. Acționarea pistonului *4* se face cu cilindrul hidraulic cu dublu efect *6*. La cursa de lucru a pistonului *4*, lichidul din camera *3* este trimis sub presiune (p = 100…1500 daN/cm^2) prin canalele *7* în cochiliile *8*, ataşate instalației. Cochiliile sunt supuse la solicitări grele şi de aceea se confecționează din oțel refractar şi au suprafețele active cromizate sau nitrurate. Ele sunt prevăzute cu canale pentru circulația apei de răcire, deoarece ritmul ridicat al turnării (250…1000 piese/oră) necesită răcire forțată. Turnarea sub presiune se aplică în producția de serie mare şi de masă, permițând obținerea unor piese cu proprietăți mecanice foarte bune, la un preț de cost scăzut.

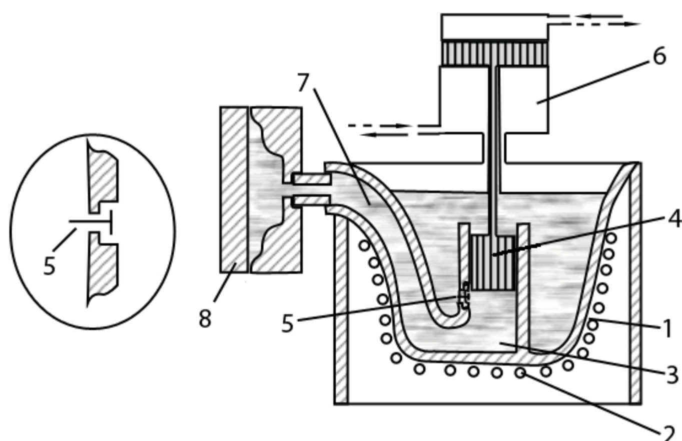


Fig.3.44. Turnarea sub presiune.

e) – Turnarea continuă este un procedeu modern care constă în obținerea unor profiluri apropiate de forma finală sau chiar în formă finală. Fluxul se desfăşoară în plan vertical (fig. 3.45.a) sau poate fi deviat în plan orizontal (fig. 3.45.b), pentru ca instalația să nu aibă înălțime prea mare. În ambele cazuri, din oala de turnare *1*, oțelul curge în rezervorul-tampon *2*, iar de aici în cristalizatorul *3*. În cristalizator, care este construit din cupru cromat şi are pereții dubli, răciți intens cu apă şi o conicitate de circa 1%, materialul compozit se solidifică la exterior, formând o coajă care îi permite să fie deplasat în jos, fiind extras cu rolele *4*. Pentru accelerarea solidificării, se folosesc duzele de răcire cu apă *5*. Pentru reducerea înălțimii instalației, rolele de curbare *6* deviază semifabricatul pe orizontală. Când semifabricatul a atins o anumită lungime este debitat, utilizându-se foarfeca mecanică *7*.

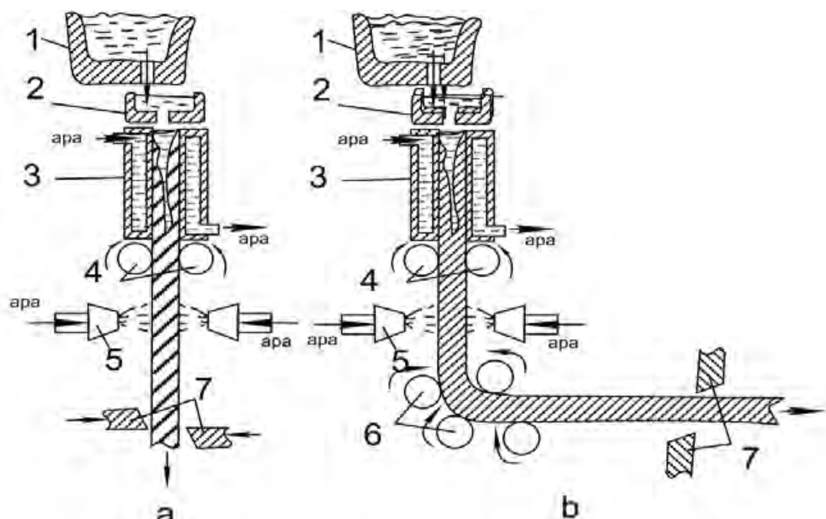


Fig. 3.45. Turnarea continuă.

Profilul exterior al semifabricatului depinde de forma geometrică a cristalizatorului. Pe lângă diverse forme de profiluri, se pot obține şi țevi.

3.5.3.3. Laminarea. Laminarea este procedeul tehnologic de prelucrare prin deformare plastică, la cald sau la rece, care constă în trecerea forțată a materialului printre doi cilindri care se rotesc în sensuri opuse. Materialele compozite prelucrate prin laminare au matrice metalice, plastice sau ceramice şi sunt armate cu pulberi sau fibre de carbon, siliciu, bor sau oxid de aluminiu, putându-se prelucra prin mai multe metode.

a) – Laminarea compozitelor cu matrice metalică se foloseşte la obținerea unor materiale armate cu fibre lungi, plase sau împletituri, având ca lianți aliaje de cobalt, nichel sau aluminiu. Laminarea se face în stare solidă şi conduce la difuzii interatomice între matrice şi armături. Matricele metalice se desfăşoară de pe tamburii *1* şi *2* (fig. 3.46), iar materialul de ranforsare, de pe tamburul *3*, trecând printre cilindrii de laminare *4*, încălziți la o temperatură de 0,2…0,5 din temperatura de topire a materialului matricei. Se realizează astfel o difuziune interatomică a materialelor, dar şi o durificare, astfel că este necesară o normalizare care se face în cuptorul *5*. Semifabricatul este apoi calibrat cu cilindrii de laminare *6* şi se înfăşoară pe tamburul *7*.

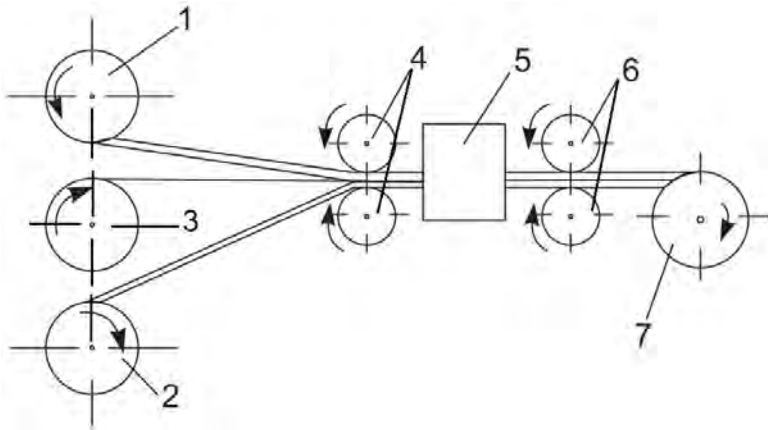


Fig.3.46. Laminarea compozitelor cu matrice metalică.

b) – Laminarea compozitelor cu matrice plastică se foloseşte pentru obținerea unor table, plăci sau benzi armate cu fibre tocate sau lungi şi țesături de sticlă, carbon sau kevlar, având matrice termoplaste (polipropilenă, poliamidă, polietilenă). În fig. 3.47 se prezintă schema de principiu a unei instalații care foloseşte fibre tocate. Banda *1* este antrenată de rolele *2* şi *3* şi apoi tocată de rola cu cuțite *4*, debitarea fibrelor de ranforsare făcându-se la lungimi de 6…12 mm. Tocătura ajunge în buncărul *5* în care se introduce şi o răşină de impregnare. Amestecul impregnat este laminat cu cilindrii *6* între două folii termoplaste care se derulează de pe tamburii *7* şi *8*. Pentru ca instalația să nu aibă înălțime prea mare, fluxul poate fi deviat pe orizontală cu rolele *9*. Semifabricatul *10* trece apoi prin

cuptorul *11* pentru polimerizare şi este debitat, la lungimea dorită, cu foarfeca mecanică *12*.

c) – Laminarea compozitelor cu matrice ceramică asigură obținerea benzilor sau tablelor armate cu fibre sau țesături şi cu matrice ceramică. În fig. 3.48 se prezintă schema de principiu a laminării compozitelor cu matrice ceramică.

Fibrele sau împletiturile de ranforsare *1* se desfăşoară de pe tamburii *2* şi se impregnează cu răşină epoxidică, folosind duzele de stropire *3*. Impregnarea este necesară pentru aderarea pulberii ceramice din buncărul *4*. Urmează o laminare cu cilindrii *5*, cu viteză mică şi presiune mare, astfel încât pulberea ceramică să se plastifieze şi să realizeze legături mecanice cu materialele de ranforsare. Semifabricatul trece apoi prin cuptorul electric *6*, unde are loc o presinterizare la 700…800 ^{o}C şi, în final, este debitat la lungimea dorită cu foarfeca mecanică *7*. După debitare, produsele sunt preluate de o masă rabatabilă şi depuse pe transportorul cu bandă *8*. Acesta le aduce într-un sector prevăzut cu cuptoare speciale în care are loc sinterizarea, adică o încălzire la1.700…1.850 ^{o}C, timp de mai multe ore, pentru creşterea durității şi a rezistenței la tracțiune, precum şi pentru modificarea unor proprietăți fizico-mecanice sau chimice.

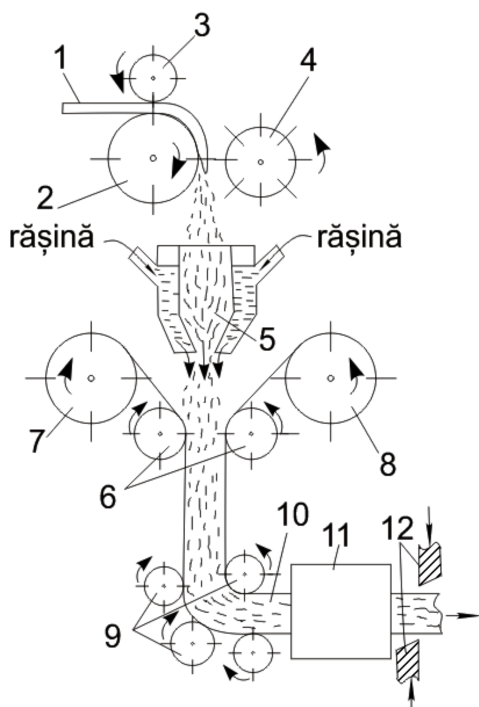


Fig. 3.47. Laminarea compozitelor cu matrice plastică.

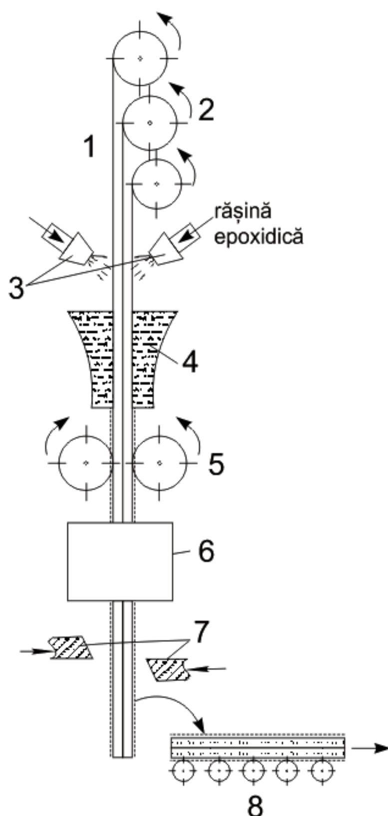


Fig. 3.48. Laminarea compozitelor cu matrice ceramică.

Metodele de laminare a compozitelor prezentate mai sus utilizează matrice aflate în stare solidă. Matricele pot fi şi lichide sau semifluide. În continuare, se prezintă şi aceste metode de laminare.

d) – Laminarea compozitelor cu matrice lichidă se foloseşte la obținerea benzilor şi tablelor armate cu fibre sau țesături de sticlă, grafit, kevlar, bor, carburi metalice şi alumină şi cu matrice metalică sau plastică.

Instalația de laminare cu matrice lichidă (fig. 3.49) este alcătuită din tamburul *1* de pe care se desfăşoară materialul de ranforsare *2*, baia *3* cu material de impregnare, cilindrii *4* pentru conducerea materialului de ranforsare, creuzetul *5* cu matrice lichidă şi benzile de laminare *6* şi *7*. Matricea lichidă poate fi metalică (cobalt, nichel, aluminiu) sau plastică (policarbonat, poliamidă, poliester, poliacetat, polietilenă, răşină epoxidică). Cilindrii benzilor de laminare sunt încălziți, temperatura fiind mai ridicată în cazul folosirii matricelor metalice şi mai scăzută pentru cele plastice. Presiunea de laminare este mare (5…15 daN/cm^2), astfel că matricea lichidă formează o interfață de legătură cu materialele de ranforsare. Pentru debitarea semifabricatului compozit *8* la lungimea dorită, se utilizează ghilotina *9*.

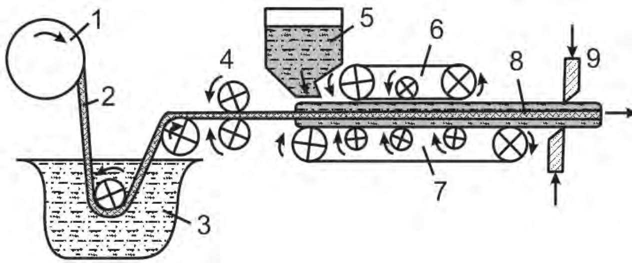


Fig. 3.49. Laminarea compozitelor cu matrice lichidă.

e) – Laminarea compozitelor cu matrice semifluidă are aceeaşi aplicabilitate ca metoda precedentă, instalația fiind alcătuită din rezervorul *1* (fig. 3.50) cu mixtură semifluidă, încălzit cu rezistența electrică *2*, din care mixtura semifluidă ajunge pe banda de laminare *3* ai cărei cilindri sunt încălziți la temperaturile prescrise pentru fiecare fel de matrice. Produsul laminat este debitat cu ghilotina *4*.

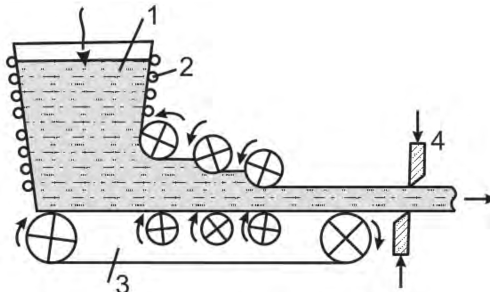


Fig. 3.50. Laminarea compozitelor cu matrice semifluidă.

Mixtura compozită este formată din pulberi sau fibre tocate de SiC şi Al_2O_3, iar matricea este metalică sau plastică.

3.5.3.4. Presarea. Presarea este procedeul tehnologic de prelucrare care constă în aplicarea unei presiuni de valoare determinată asupra unui material compozit introdus într-o matriţă, la cald sau la rece. Ea se aplică atât materialelor solide, cât şi celor lichide sau cu matrice semifluidă.

a) – Presarea materialelor în stare solidă se realizează printr-un procedeu asemănător celui utilizat la presarea materialelor plastice la cald. Materialul compozit se obţine prin presarea la cald a unor straturi suprapuse, de tip sandviş, de armături şi matrice care se îmbină prin difuziune atomică. De obicei, presarea se realizează în vid sau în atmosferă controlată. Matricea poate fi metalică sau plastică, iar temperatura de încălzire a matriţei este 0,5…0,9 din temperatura de topire a matricei.

b) – Presarea materialelor în stare lichidă îmbină avantajul turnării (topirea mixturii compozite) cu cel al matriţării la cald (folosirea matriţelor şi a presiunii ridicate). Instalaţia (fig. 3.51) este alcătuită din oala de turnare *1*, încălzită cu rezistenţa electrică *2*, în care se pregăteşte lichidul compozit format din pulberi sau fibre tocate de ranforsare şi o matrice metalică sau plastică. Lichidul compozit este omogenizat cu ajutorul agitatorului rotativ *3*. Prin jgheabul *4*, lichidul compozit este turnat în matriţa metalică *5* şi presat cu poansonul *6*. După solidificarea piesei *7*, aceasta este extrasă din matriţă cu împingătorul *8*.

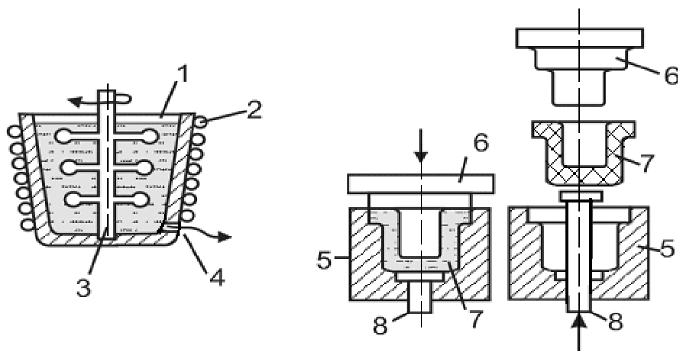


Fig. 3.51. Presarea compozitelor lichide.

c) – Presarea materialelor cu matrice semifluidă este un procedeu nou, utilizat pentru obţinerea unor piese de dimensiuni mici în aeronautică, sectorul feroviar (mobilier pentru vagoane), construcţia de automobile (spoilere, rezervoare de combustibil), precum şi pentru realizarea panourilor solare. Instalaţia de presare (fig. 3.52) este formată din semimatriţele *1* şi *2* fixate între plăcile *3* şi *4* şi din cilindrul *5* şi pistonul de presare *6*. Între semimatriţe se introduce de la început materialul de ranforsare, sub formă de ţesătură, iar răşina semifluidă (poliester) este injectată la o presiune de 5 daN/cm^2 cu pistonul *6*.

Procedeul nu este poluant, întrucât în timpul lucrului nu se degajă vapori nocivi, matriţa fiind închisă şi este productiv, putând fi automatizat.

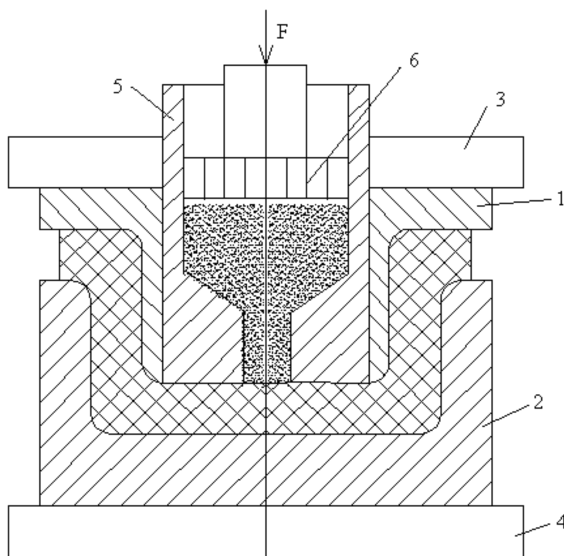


Fig.3.52. Presarea compozitelor cu matrice semifluidă.

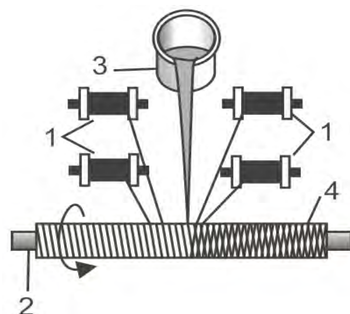


Fig. 3.53. Înfăşurarea.

3.5.3.5. Înfăşurarea. Înfăşurarea este un procedeu tehnologic de obținere a pieselor sau semifabricatelor compozite care constă în rularea materialului de ranforsare (fibre sau țesături de sticlă, grafit, kevlar sau bor) care se desfăşoară de pe bobinele *1* (fig. 3.53), pe cilindrul *2*, confecționat dintr-un material fuzibil care se elimină la sfârşitul lucrului sau din segmenți demontabili din cauciuc, lemn sau metal. Există trei scheme de înfăşurarea: circulară, polară sau elicoidală, iar pentru maximizarea performanțelor produselor se utilizează mai multe bobine cu material de ranforsare. Țesătura de ranforsare este impregnată cu răşina *3*, obținându-se piesa *4*, cu greutate mică şi rezistență mare.

Procedeul se aplică la fabricarea unor piese de dimensiuni mari: cisterne, conducte, rezervoare sub presiune, pale de elicopter şi turbine eoliene, silozuri.

3.6. Alte tipuri de materiale avansate

3.6.1. Materiale magnetice

3.6.1.1. Generalități. Magnetismul a fost descoperit cu 3.500 de ani î.Hr. în China, Egipt şi Sumer, fiind consemnat pentru prima dată de Thales din Milet (640-547 î.Hr.). El şi-a găsit aplicații practice în prima jumătate a sec. XX (1900: Fe-Si la maşini electrice; 1920: Fe-Ni în telefonie; 1950: ferite în televiziune). Astăzi, magnetismul este indispensabil funcționării unor dispozitive folosite în electrotehnică, automatică, informatică şi comunicații.

Materialele magnetice sunt materiale care se pot magnetiza sau pot fi atrase de magneți. Din punctul de vedere al stării de magnetizare, materialele magnetice se împart în: diamagnetice, paramagnetice, feromagnetice, antiferomagnetice şi

ferimagnetice.

a) – Materialele diamagnetice au permeabilitate magnetică subunitară şi prezintă o magnetizare de sens contrar intensităţii câmpului magnetic exterior (Cu, Ag, Au, Be, Zn, Cd, Hg, Ga, In, Pb). În absenţa câmpului exterior se demagnetizează.

b) – Materialele paramagnetice au o permeabilitate magnetică uşor supraunitară şi la introducerea într-un câmp magnetic, prezintă o magnetizare slabă, de acelaşi sens cu intensitatea câmpului, fiind atrase către regiunile în care câmpul este mai intens (Al, Pt, Cr, Mn). La fel ca la cele diamagnetice, starea de magnetizare dispare odată cu dispariţia câmpului extern.

c) – Materialele feromagnetice au permeabilitate magnetică mare, iar la temperaturi mai mici decât punctul Curie prezintă o magnetizare permanentă. La introducerea într-un câmp magnetic exterior, capătă o magnetizare intensă şi de acelaşi sens cu a câmpului exterior, iar la depăşirea temperaturii Curie se transformă în paramagnetice (Fe, Ni, Co, Gd şi aliajele lor).

d) – Materialele antiferomagnetice au atomi sau ioni care prezintă momente magnetice egale şi orientate în sensuri opuse, dar nu au o importanţă practică deosebită (MnO, FeO, NiO).

e) – Materialele ferimagnetice au subreţele magnetice cu momente opuse (ca cele antiferomagnetice), dar neegale, astfel că rezultanta acestor momente nu este nulă. Sub influenţa unui câmp magnetic exterior, sunt afectate de o magnetizare spontană, prezentând şi avantajul unor pierderi reduse prin curenţi turbionari, datorită rezistivităţii ridicate (ferite cu cobalt şi nichel).

3.6.1.2. Clasificarea materialelor magnetice. După modul de comportare în câmpul magnetic există *materiale magnetice moi*, care se magnetizează cu uşurinţă, dar se şi demagnetizează uşor, *materiale magnetice dure*, care se magnetizează greu, dar îşi menţin proprietăţile magnetice timp îndelungat şi *materiale magnetice semidure*, care se folosesc pentru înregistrarea magnetică a informaţiilor

3.6.1.2.1. Materialele magnetice moi trebuie să aibă inducţie remanentă mică, permeabilitate foarte mare, câmp coercitiv mic, inducţie la saturaţie cât mai ridicată, suprafaţă mică a ciclului histerezis , pierderi mici prin histerezis şi curenţi turbionari şi conductibilitate electrică scăzută. Aceste proprietăţi sunt influenţate de compoziţia chimică, incluziuni, mărimea grăunţilor, metodele de elaborare, tratamentele termice aplicate şi solicitările mecanice la care sunt supuse. Ca urmare, materialele magnetice moi trebuie să aibă o structură omogenă, să nu conţină impurităţi sau incluziuni, să aibă o granulaţie mare şi să nu prezinte tensiuni interne.

Ca materiale magnetice moi se utilizează:

a) – Fierul. În practică se folosesc mai multe tipuri de fier, cele mai răspândite fiind fierul tehnic pur, fierul electrolitic şi fierul carbonil.

Fierul tehnic pur (99,50…99,90) se mai numeşte fier *Armco* (*A*merican *R*olling *M*ill *Co*), fier suedez, fier magnetic sau fier moale şi are un conţinut redus de impurităţi. După prelucrări mecanice se recomandă un tratament de recoacere în atmosferă de hidrogen, pentru creşterea permeabilităţii şi micşorarea câmpului

coercitiv. Se foloseşte la fabricarea miezurilor masive ale circuitelor magnetice care funcționează în curent continuu.

Fierul electrolitic se obține prin electroliză, are o puritate înaintată (99,95%) şi se foloseşte la elaborarea aliajelor aluminiu-nichel (Alni) sau aluminiu-nichel-cobalt (Alnico) sinterizate, utilizate, la rândul lor, la fabricarea magneților permanenți şi a magnetroanelor.

Fierul carbonil are o puritate şi mai avansată şi este constituit din particule sferice care nu deteriorează izolația tolelor supuse unor presiuni mari, folosindu-se la fabricarea materialelor magnetoizolante. Acestea sunt formate din pulberi de fier carbonil presate cu lianți izolanți şi se utilizează, sub formă de bastonaşe, ca miezuri în bobinele de înaltă frecvență sau sub formă lichidă, la realizarea ambreiajelor electromagnetice.

b) – Aliajele fier-siliciu sunt utilizate îndeosebi în electrotehnică, având proprietăți magnetice bune şi un cost redus. Siliciul contribuie la creşterea rezistivității şi reducerea pierderilor prin curenți turbionari. Cu un procent de 6..7% Si s-ar obține un aliaj magnetic ideal, dar conținutul de siliciu nu poate depăşi 4,5% în cazul laminării la cald şi 3,3 % în cazul laminării la rece, deoarece fragilitatea creşte atât de mult încât materialul devine neprelucrabil. În acelaşi timp, siliciul determină scăderea conductibilității termice şi a inducției la saturație a aliajului.

Aliajele fier-siliciu se utilizează îndeosebi sub formă de table subțiri (pentru reducerea pierderilor prin curenți turbionari), laminate la cald sau la rece. Izolarea tablelor se realizează cu lacuri sintetice, cu hârtie sau cu oxizi ceramici. Ele se folosesc la fabricarea motoarelor, generatoarelor şi transformatoarelor electrice.

c) – Aliajele nichel-fier (***perm***eable ***alloy*** – ***permalloy*** = aliaj permeabil) au o permeabilitate magnetică foarte mare, pierderi magnetice specifice mici şi câmp coercitiv mic, fiind cele mai cunoscute materiale magnetice moi. Ele conțin 35…80% Ni şi în funcție de conținutul de siliciu şi de tratamentul termic aplicat pot fi:

Aliajele cu permeabilitate magnetică mare conțin 76…79% Ni, sunt maleabile şi ductile şi au o permeabilitate de 10 ori mai mare decât cea a fierului pur. Ele se obțin prin retopire în vid, laminare în foi foarte subțiri şi recoaceri în vid sau în atmosferă de hidrogen. Se utilizează în construcția transformatoarelor de măsură, a aparatelor feromagnetice cu repulsie şi a ecranelor magnetice.

Aliajele cu ciclu histerezis dreptunghiular conțin 50…65% Ni, se elaborează prin retopire în vid şi se prelucrează prin laminare la rece, urmată de o recoacere de recristalizare. Se folosesc în construcția amplificatoarelor magnetice, a dispozitivelor de comutare şi calculatoarelor.

Aliajele cu permeabilitate magnetică constantă conțin mai puțin nichel şi au permeabilitate scăzută care rămâne constantă în câmpuri magnetice slabe. Au pierderi reduse şi se folosesc în construcția aparatelor acustice şi a transformatoarelor de măsură.

d) – Aliajele fier-cobalt conțin 35…50% Co şi au o inducție mare la saturație. Fiind dure şi casante, nu se pot prelucra prin deformare plastică decât

printr-un adaos de 2% vanadiu. Se folosesc la fabricarea membranelor telefonice şi a miezurilor pentru electromagneţi.

e) – Feritele moi au pierderi foarte mici prin histerezis magnetic şi prin curenţi Foucault. Ca urmare, se utilizează în construcţia antenelor de recepţie, a transformatoarelor de impuls sau de putere, la fabricarea capetelor de înregistrare magnetică şi a memoriilor calculatoarelor, precum şi a radarelor.

După structură, există două tipuri de ferite moi:

- *spinelii* au formula generală AB_2O_4, unde *A* este un metal din grupa II A, iar *B*, un metal din grupa III A. Ei se obţin din magnetit (Fe_3O_4) prin înlocuirea atomilor de fier cu atomii altor elemente (Ni, Mn, Zn, Mg, Li): $MgZnFe_2O_4$, $MnZnFeO_4$, $NiZnFe_2O_4$, $Li_{0,5}Fe_{2,5}O_4$;
- *grenatele* au formula generală $R_3Fe_5O_{12}$, unde *R* este un lantanid (pământ rar): grenatul de fier şi ytriu ($Y_3Fe_5O_{12}$), grenatul de galiu şi gadoliniu [$Gd_3Ga_2(GaO_4)_3$].

f) – Aliajele termomagnetice sunt soluţii solide (Ni-Fe, Ni-Cu, Ni-Fe-Cr, Ni-Si-Fe) cu punctul Curie foarte scăzut (sub 100 °C), a căror permeabilitate creşte puternic cu scăderea temperaturii. Ele se folosesc la şuntarea magneţilor permanenţi, ale căror fluxuri cresc odată cu scăderea temperaturii; pentru păstrarea unu flux constant, într-un anumit interval de temperaturi, pe magneţi se fixează benzi termomagnetice care compensează erorile de temperatură din aparatele de măsură şi control.

g) – Aliajele magnetostrictive (***piezoelectrice***) se caracterizează prin proprietatea de generare a unui impuls electric sub acţiunea unei deformări mecanice (efect piezoelectric direct) sau de a se deforma sub acţiunea unui câmp electric exterior (efect piezoelectric invers). Principalele materiale magnetostrictive sunt nichelul, aliajele Ni-Fe, Ni-Co, Co-Fe, Fe-Pt, Fe-Tb, Fe-Eb. Ele se utilizează în construcţia generatoarelor de ultrasunete.

În tabelul 3.9 se prezintă caracteristicile unor materiale magnetice moi.

3.6.1.2.2. Materialele magnetice dure îşi păstrează starea de magnetizare şi după dispariţia câmpului magnetizant exterior şi au cicluri histerezis cu suprafeţe mari, câmp coercitiv şi inducţie remanentă mari şi se folosesc la fabricarea magneţilor permanenţi.

Materialele pentru magneţi permanenţi trebuie să aibă un indice de calitate (produsul dintre inducţia *B* şi câmpul magnetic *H*) cât mai mare, adică histerezisul lor să se apropie cât mai mult de un dreptunghi. Principalele materiale din care se fabrică magneţii permanenţi sunt oţelurile hipereutectoide, aliajele Alni şi Alnico, feritele magnetice dure şi pământurile rare.

a) – Oţelurile hipereutectoide martensitice conţin cantităţi mici de Cr, W, Mo şi Co, sunt ieftine, dar au un indice de calitate scăzut şi nu sunt rezistente la şocuri, vibraţii şi variaţii de temperatură. Fiind fragile, nu se pot prelucra decât prin turnare.

b) – Aliajele Alni şi ***Alnico*** sunt aliaje cu 6…12% aluminiu, 13…28% nichel, 0…36% cobalt şi restul fier. Caracteristicile lor magnetice depind de compoziţia chimică, de conţinutul de impurităţi şi de tratamentele termice aplicate.

Tabelul 3.9. **Caracteristicile materialelor magnetice moi**

Nr. crt.	Materialul	Compoziția chimică [%]	Permeabilitatea relativă μ_r	Inducția la saturație B_s [T]	Câmpul magnetic coercitiv H_c [A/m]	Rezistivitatea ρ [Ω·m]	Domenii de utilizare
1	Fier pur	100% Fe	5.000	2,15	80	$10 \cdot 10^{-4}$	Piese polare, relee electromagnetice, membrane telefonice, miezuri de bobine
2	Fe-Si (cu grăunţi neorientaţi)	96% Fe 4% Si	7.000	1,97	40	$60 \cdot 10^{-4}$	Miezuri magnetice pentru transformatoare
3	Fe-Si (cu grăunţi orientaţi)	97% Fe 3% Si	40.000	2,00	8		Miezuri magnetice pentru maşini rotative
4	Permalloy 78	78% Ni 22% Fe	100.000	1,08	4	$16 \cdot 10^{-4}$	Miezuri pentru transformatoare şi bobine de şoc
5	Supermalloy	79% Ni; 16% Fe; 5% Mo	1.000.000	0,79	0,16	$65 \cdot 10^{-4}$	Amplificatoare magnetice, transformatoare de impulsuri, traductoare, ecrane magnetice
6	Mu-Metal	77% Ni; 16% Fe; 5% Cu; 2% Cr	100.000	0,65	4	$58 \cdot 10^{-4}$	
7	Mo-Permalloy	78,5 % Ni; 17,7 %Fe; 3,8 % Mo	120.000	0,87	3,2	$60 \cdot 10^{-4}$	
8	Permendur	50% Fe 50% Co	5.000	2,45	160	$28 \cdot 10^{-4}$	Miezuri de electromagneţi, difuzoare dinamice, membrane telefonice
9	Perminvar	45% Ni; 25% Co; 23% Fe; 7% Mo	3.800	1,03	200		Miezuri de transformator şi bobine de înaltă stabilitate în radiocomunicaţii
10	Permenorm K_1	64% Fe 36%Ni	2000	1,30	55	$75 \cdot 10^{-4}$	Transductoare magnetostrictive
11	Alsifer	85% Fe 9% Si 6% Al	30.000	1,00	4,00	$80 \cdot 10^{-4}$	Ecrane magnetice, carcase pentru maşini şi aparate electrice

Astfel, cobaltul măreşte inducţia la saturaţie B_s şi temperatura Curie, iar nichelul şi aluminiul măresc câmpul magnetic coercitiv H_c şi scad inducţia remanentă B_r.

Tratamentele termice aplicate urmăresc durificarea prin dispersie de fază. Printr-o răcire rapidă de la 1100…1300 °C se împiedică separarea fazelor secundare, obţinându-se o soluţie solidă suprasaturată de Fe_2NiAl în fier. Se efectuează apoi o recoacere de îmbătrânire, în timpul căreia compusul Fe_2NiAl se precipită sub formă de particule foarte fine, uniform dispersate în masa materialului, ceea ce produce mărirea câmpului magnetic coercitiv H_c prin deformarea reţelei cristaline de bază. Caracteristicile magnetice se pot îmbunătăţi şi prin aplicarea unor tratamente termomagnetice (răciri în câmpuri magnetice), care conduc la anizotropii pronunţate, datorită formei alungite a particulelor Fe-Co.

Aliajele Alni (Fe-Ni-Al) sau Alnico (Fe-Ni-Al-Co) se prelucrează prin turnare sau prin metalurgia pulberilor şi se utilizează la fabricarea instrumentelor de măsură cu stabilitate termică mare şi a captoarelor (dispozitive care transformă semnalele acustice sau optice în semnale electrice: microfoane, celule fotoelectrice).

c) – Feritele dure conţin oxizi de fier (Fe_2O_3) asociaţi cu bariu şi stronţiu, au câmp coercitiv mare, o rezistivitate foarte mare (ceea ce le face utilizabile la frecvenţe înalte, cu pierderi mici prin curenţi turbionari) şi un preţ redus. În acelaşi timp, au inducţie remanentă redusă şi nu sunt stabile la variaţii de temperatură. Tehnologia de fabricaţie constă în măcinarea constituenţilor şi încălzirea amestecului la 1.200 ^{0}C pentru obţinerea feritei, măcinarea feritei în prezenţa apei pentru obţinerea unei pulberi foarte fine, de 0,5 μm şi compresia pulberii amestecate cu un liant într-un câmp magnetic. În continuare, are loc o sinterizare, la 1200 ^{0}C, urmată de o răcire controlată. Magneţii astfel obţinuţi au cel mai bun raport calitate/preţ şi se folosesc la fabricarea micromotoarelor electrice şi a transductoarelor electromecanice (care funcţionează pe principiul invers al microfonului, producând sunete din semnale electrice).

d) – Pământurile rare (***lantanidele***) asigură magneţilor un indice de calitate superior (fig. 3.54). În mod obişnuit se utilizează: $SmCo_5$, Sm_2Co_{17}, $Nd_2Fe_{14}B$ şi aliaje Sm-Co-Cu-Fe-Zr. Magneţii se obţin fie prin tehnologia menţionată la feritele dure, fie printr-un procedeu mai simplu care permite realizarea rapidă a unor magneţi cu forme complexe: pulberea de lantanide se mixează cu un polimer şi se prelucrează prin injecţie, extrudare sau compresiune, obţinându-se un produs poros, cu greutate redusă. Magneţii ceramici se folosesc în microelectronică şi informatică sau la fabricarea servomotoarelor şi cuplajelor electromagnetice.

Evoluţia istorică a magneţilor permanenţi, în funcţie de indicele de calitate maxim $(B \cdot H)_{max}$ este prezentată în fig. 3.54, iar în tabelul 3.10 se prezintă caracteristicile câtorva materiale magnetice dure.

3.6.1.2.3. Materialele magnetice semidure sunt destinate înregistrării magnetice a informaţiilor, fiind materiale la care dependenţa dintre câmpul magnetic exterior şi inducţia remanentă este cvasiliniară într-un anumit domeniu. Ele trebuie să aibă un câmp coercitiv şi o inducţie remanentă cât mai mari, pentru a

împiedica efectul de ştergere a informaţiei prin demagnetizare. Dezvoltarea acestor materiale a luat o amploare deosebită, astfel că astăzi ponderea lor este de circa 80% din totalul materialelor magnetice. Piaţa lor este în continuă ascensiune, fiind egalată doar de cea a materialelor semiconductoare.

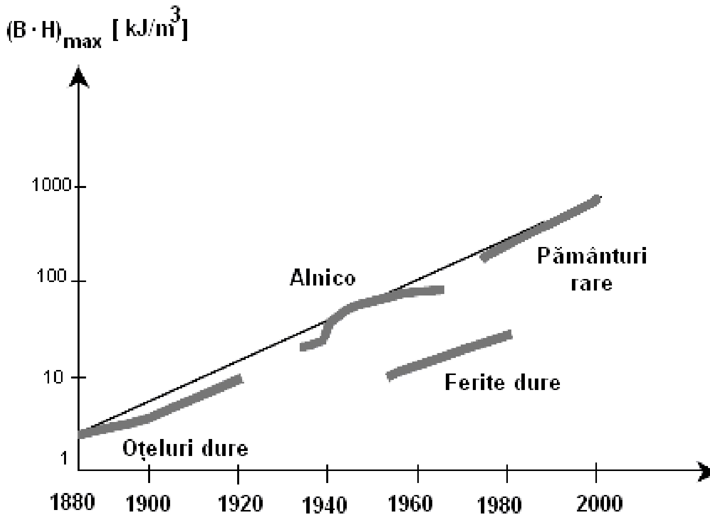


Fig. 3.54. Evoluţia istorică a magneţilor.

Înregistrarea şi stocarea magnetică a informaţiilor se realizează prin depunerea pe un suport din material plastic sau metalic a unor materiale magnetice sub formă de particule fine, amestecate cu răşini epoxidice, realizându-se un strat magnetic de circa 20 µm grosime. Calitatea înregistrării informaţiei depinde de natura materialului magnetic, forma şi dimensiunile particulelor şi uniformitatea distribuţiei lor în strat.

Suporţii stratului magnetic sunt confecţionaţi din materiale plastice (policarbonaţi) sau metalice (aluminiu) şi se prezintă sub formă de benzi sau discuri. Ca materiale magnetice, se utilizează pulberi de $SiFe_2O_3$ şi CrO_2, precum şi aliaje simple sau complexe: Co-Cr, Ti-Cr, Co-Pt, Co-Pt-Cr, Co-Cr-Ta, Co-Cr-Pt-Ta.

Înregistrarea informaţiei se realizează cu un electromagnet constituit dintr-un miez cu întrefier, pe care se înfăşoară o bobină (fig. 3.55).

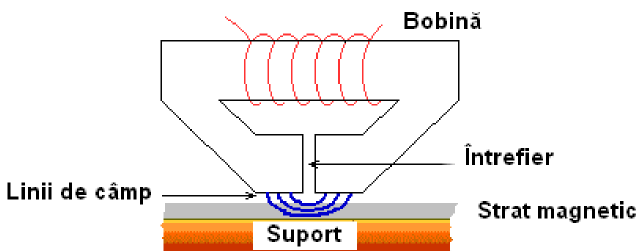


Fig. 3.55. Înregistrarea magnetică a informaţiei.

Tabelul 3.10. **Caracteristicile materialelor magnetice dure**

Nr. crt	Materialul	Compoziţia chimică %	Inducţia remanentă *Br* [T]	Câmpul magnetic coercitiv Hc [A/m]	Energia magnetică maximă $(B \cdot H)_{max}$ [kJ/m^3]	Domenii de utilizare
1	Oţel carbon călit	1% C;0,5 % Mn	0,90	4,00	1,60	Inductoare pentru generatoare, elemente de excitaţie pentru micromaşini electrice, macarale electromagnetice, echipamente electronice, aparate de măsură şi control
2	Oţel aliat cu Wolfram	0,7% C; 5,7% W; 0,5% Cr; 0,3% Si	1,03	5,60	4,60	
3	Oţel aliat cu cobalt	0,9% C; 35% Co; 5…6%W; 3…6% Cr	0,90	20,00	7,40	
4	Alni 6/2	21,5%Ni; 11%Al; 4%Cu	0,63	20,00	5,57	Maşini electrice rotative, aparate de măsură, captoare, radare, chitare electrice, magnetouri, telefoane, sonerii
5	Alini 8/4	28%Ni; 10%Al; 5%Cu	0,50	35,00	7,96	
6	Alnico 10/5	21%Ni; 15%Co 11%Al; 4%Cu	0,60	50,00	10,00	
7	Alnico 30/4	24% Co; 14% Ni 8,5%Al; 4%Cu	1,15	40,00	31,00	
8	Alnico 50/6	24% Co; 14% Ni 8%Al; 3%Cu; 0,5% Nb	1,26	56,00	50,00	
9	Koerflex 200	52% Co; 38% Fe, 10%V	1,60	6,00	4,80	Magneţi pentru uşi de mobilier, aparate de măsură şi control, vitezometre
10	Cunife 1	60%Cu; 20%Ni; 20%Fe	0,57	48,00	15,00	Aparate de măsură, relee, amplificatoare magnetice
11	Ferită dură 6/20	BaO 6Fe_2O_3	0,20	116,00	5,60	Micromotoare electrice, transductoare electromecanice
12	Ferită dură 24/23	SrO 6Fe_2O_3	0,36	223,0	23,90	
13	Pământuri rare	$SmCo_5$	1,00	750,0	190,00	Microelectronică şi informatică, cuplaje magnetice.
14		$Nd_2Fe_{14}B$	1,30	950,00	360,00	

Când prin bobină circulă un curent electric, acesta creează un câmp magnetic care, în zona întrefierului, produce magnetizarea stratului aflat pe suport, ceea ce corespunde cu stocarea unei informații audio sau video. Capul de înregistrare inductiv poate fi utilizat şi pentru citire, variația câmpului magnetic inducând un curent electric în bobină. De obicei, capetele de citire sunt magnetorezistive, sensibilitatea acestora fiind mult mai mare. În practică, se foloseşte un dublu-cap, cuplând un cap de înregistrare inductiv cu un cap de citire magnetorezistiv.

Materialele pentru înregistrarea şi stocarea magnetică a informațiilor au numeroase aplicații: casete audio şi video, carduri bancare, tichete pentru mijloace de transport în comun, dischete, discuri dure şi, mai recent, carduri de memorie (fig. 3.56.)



Fig. 3.56. Card de memorie.

3.6.2. Fibre optice

3.6.2.1. Generalități. Fibrele optice sunt fibre de sticlă sau de plastic care conduc lumina de-a lungul lor. Ele se folosesc pe scară largă în domeniul telecomunicațiilor, permițând transmiterea informațiilor pe distanțe lungi şi la lățimi de bandă mai mari decât cablurile metalice, față de care au următoarele avantaje: viteza de transmitere a datelor este foarte mare, ajungând la 200.000 km/s; pierderile de semnal sunt foarte scăzute, chiar pentru distanțe mari; insensibilitate la perturbațiile electromagnetice exterioare; posibilitatea montării lor în orice medii (canale, mări şi oceane, medii deflagrante, teren înghețat); transmiterea datelor se face digital, adică sub forma naturală a semnalelor de pe calculatoare; rezistență mare la oxidare şi coroziune; nu se încălzesc în timpul funcționării (la frecvențe înalte, cablurile de cupru se încălzesc şi trebuie răcite); greutăți reduse; cheltuieli de întreținere şi exploatare mici. În acelaşi timp, ele prezintă şi următoarele dezavantaje: tehnologia de fabricație este pretențioasă, materiile prime din care provin – îndeosebi sticla – trebuind să aibă o puritate avansată; sunt fragile şi, ca urmare, razele de racord ale cablurilor trebuie să fie mari; nu permit transportul de energie; densitatea de lumină fiind foarte mare, operatorii umani trebuie să-şi protejeze ochii cu ochelari speciali, pentru a nu le fi afectată retina; convertoarele de energie electrică/energie luminoasă de la extremități sunt scumpe, iar conexiunile fibrelor de pe traseu sunt pretențioase.

Pe lângă transmiterea datelor, fibrele optice se mai utilizează în endoscopie şi spectroscopie sau pot constitui ele însele senzori de măsurare a unor mărimi fizice (tensiune, temperatură, presiune). O fibră optică dopată cu anumite pământuri rare, cum ar fi erbiul, se poate folosi ca mediu de amplificare pentru lasere.

Cunoscut încă din antichitate, fenomenul circulației luminii printr-un cilindru de sticlă a fost studiat în secolul XIX, realizându-se şi câteva aplicații: fântâna luminoasă, fotofonul, şi unele dispozitive simple pentru investigarea cavităților corpului uman. Mai târziu, au fost descoperite gastroscopul semiflexibil

(1956) şi endoscopul medical flexibil (1957), iar în 1970 s-a produs prima fibră optică pentru telecomunicaţii cu pierderi mici de semnal (20 dB/km faţă de 0,25 dB/km, cât au cele de astăzi). De altfel, în anul 2009 s-a acordat şi un Premiu Nobel în fizică pentru realizări remarcabile în transmiterea luminii prin fibre optice cercetătorilor Charles Kao, Willard Boyle şi George Smith.

3.6.2.2. Reţele de fibre optice. Semnalele numerice generate de calculator trebuie transformate în semnale optice, ceea ce se realizează cu ajutorul unei perechi de *tranceivere optice* (fig. 3.57). În interiorul acestora, semnalele electrice sunt transformate în impulsuri optice de către o diodă electroluminescentă şi citite de un fototranzistor sau o fotodiodă. Pentru a transmite cât mai multe informaţii, se folosesc mai multe semnale numerice, cu aceeaşi viteză de modulare, dar cu lungimi de undă diferite. Pentru aceasta, se folosesc mai multe emiţătoare care transmit semnalele luminoase unui multiplexor (fig. 3.58). Acesta concentrează semnalele luminoase primite de la emiţătoare şi le transmite fibrei optice. Pentru compensarea pierderilor de semnal, pe traseul fibrei optice se montează amplificatoare. La capătul traseului vom avea un demultiplexor care separă semnalele luminoase, în funcţie de lungimea de undă, şi le transmite receptoarelor finale.

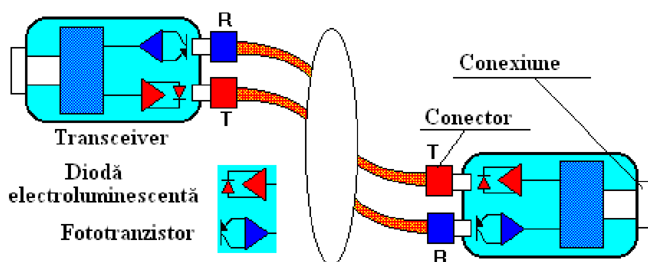


Fig. 3.57. Schema unui transceiver optic.

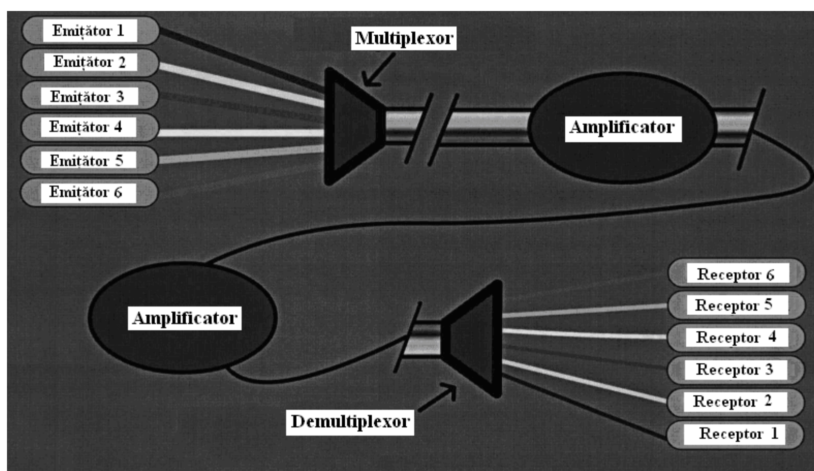


Fig. 3.58. Reţea de fibre optice.

3.6.2.3. Tipuri de fibre optice. Fibra optică este un mediu optic transparent care transmite lumina de-a lungul axei sale printr-o reflexie internă totală. Fibrele optice sunt încorporate în cabluri care le asigură protecție mecanică şi chimică. Principiul lor este prezentat în fig. 3.59. Miezul fibrei are un indice de refracție (raportul dintre viteza luminii în vid şi viteza luminii prin fibra optică) mai mare decât cel al tecii, astfel că raza de lumină va fi permanent reflectată de suprafața de separație a celor două materiale, propagându-se în zigzag. De obicei, indicele de refracție al miezului este 1,46, iar al tecii 1,48 (indicele de refracție al vidului este 1). Semnalul din fibra optică va circula cu 200.000 km/s, înconjurând Pământul, pe la ecuator, de cinci ori într-o secundă!

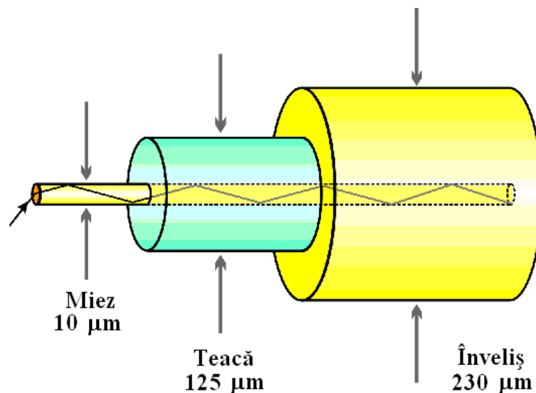


Fig. 3.59. Principiul fibrei optice.

Miezul este confecționat din cuarț foarte pur, dopat cu germaniu şi fosfor (pentru creşterea indicelui de refracție), iar teaca, tot din cuarț, dar dopat cu bor şi fluor (pentru micşorarea indicelui de refracție). Miezul şi teaca sunt protejate de un înveliş exterior din material plastic. Sute sau chiar mii de astfel de fibre optice sunt aranjate sub formă de snopi, formând un cablu optic, protejat şi el de o îmbrăcăminte rezistentă la agenții exteriori.

În funcție de diametrul miezului şi de lungimea de undă folosită, fibrele optice sunt de două feluri: multimodale şi unimodale (fig. 3.60).

a) – Fibrele multimodale sunt primele apărute pe piață şi asigură transportul concomitent al mai multor fascicule luminoase (până la 680), având diametrul miezului mai mare de 10 µm. Din cauza atenuării fasciculului de lumină în timpul propagării, ca urmare a reflexiei la limita de separare miez-teacă, se folosesc numai pentru debite mici şi distanțe scurte.

Fibrele multimodale sunt de două feluri:

- *fibrele multimodale cu salt de indice* conduc razele de lumină de-a lungul miezului fibrei prin reflexie internă totală. Razele care ajung la suprafața de contact miez-teacă sub un unghi mai mare decât unghiul critic (unghiul minim pentru reflexia internă totală) sunt complet reflectate, iar cele care ajung sub un unghi mai mic decât cel critic sunt refractate din miez în teacă şi nu mai transmit lumina (informația) de-a lungul fibrei;

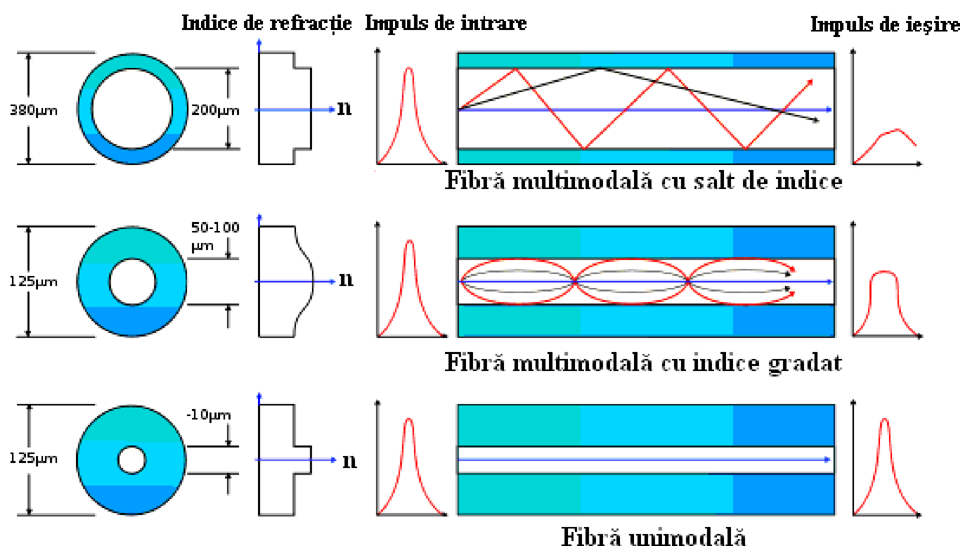


Fig. 3.60. Tipuri de fibră optică.

- *fibrele multimodale cu indice gradat* (*cu gradient de indice*) au un indice de refracție al miezului care scade treptat de la un centru către periferie, ceea ce face ca transmiterea luminii să se facă prin unde sinusoidale şi pierderile să fie mai mici. Razele cu unghiuri mai mari trec mai mult prin zonele periferice ale miezului, care au indici de refracție mai mici, şi nu prin centrul cu indici de refracție mari. Profilul indicelui de refracție este astfel ales încât să minimizeze diferența de viteză de propagare a diverselor raze din fibră. Profilul ideal este foarte apropiat de o relație parabolică între indicele de refracție şi distanța față de axa miezului. Ca urmare, diametrul miezului este mai mic, dar execuția sa este mai pretențioasă, fiind alcătuit din straturi succesive, cu indici de refracție care scad de la centru spre periferie.

b) – Fibrele unimodale au apărut ulterior, având diametrul miezului sub 10 μm, astfel că transmiterea semnalului luminos se face liniar, de-a lungul axei miezului. Semnalul luminos este generat de un laser, ceea ce măreşte prețul rețelei, dar acest dezavantaj este înlăturat de posibilitatea transmiterii informațiilor pe distanțe foarte mari, chiar intercontinentale, cu pierderi foarte mici de semnal. Desigur, în rețea sunt montate şi amplificatoare optice.

3.6.2.4. Fabricarea fibrelor optice. În practică, există trei categorii de materiale pentru fabricarea fibrelor optice: bioxid de siliciu pur şi amestecuri ale acestuia cu alți oxizi, în cantități mici, numiți dopanți; sticle compozite; materiale plastice. Cele mai utilizate sunt primele două, granița dintre ele fiind greu de precizat. Atât cuarțul pur, cât şi sticla compozită au o structură amorfă, sunt anizotrope şi se pot trage în fire din stare vâscoasă. Prima etapă în procesul de fabricare a fibrelor optice din aceste materiale o constituie obținerea unei preforme din cuarț foarte pur, sub formă de cilindru, cu diametrul de circa 10 cm şi lungimea de 1 m. Există mai multe metode de obținere a preformelor, cea mai cunoscută

fiind *metoda cu modificarea chimică a vaporilor condensați* (*MCVD* – *M*odified *C*hemical *V*apor *D*eposition) (fig. 3.61). Oxigenul este barbotat în soluții de $SiCl_4$, $POCl_3$, $GeCl_4$ şi BBr_3 , iar amestecul de gaze este condus într-un tub de cuarț montat pe un strung special. Elementele dopante (Si, Ge, P, B) vor conferi viitoarei fibre optice proprietățile dorite (indice de refracție, coeficient de dilatare, temperatură de topire etc.). Tubul de cuarț este rotit pe strung şi încălzit cu un arzător cu flacără de gaze, formându-se oxizi ai elementelor dopante care fuzionează cu tubul de cuarț şi obținându-se un tub de sticlă placat la interior. Obținerea preformei durează câteva ore, procesul de dozare a amestecului de gaze şi de injectare a debitului, fiind controlate automat. Preforma astfel obținută este supusă unui control de calitate, măsurându-se, în principal, indicele de refracție.

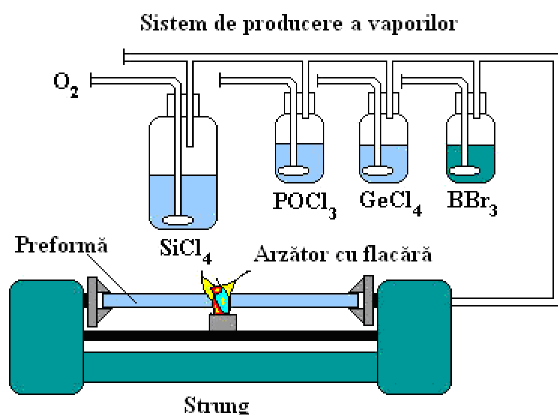


Fig. 3.61. Procedeul MCVD de obținere a preformei.

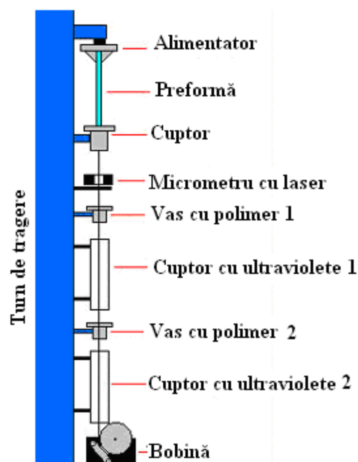


Fig. 3.62. Turn de tragere.

În continuare, preforma este transferată într-un *turn de tragere*, cu înălțimea de circa 15 m unde, dintr-un cilindru cu diametrul de 10 cm şi lungimea de 1 m, se obține o fibră optică unimodală cu lungimea de 150 km (fig. 3.62). Preforma este fixată într-un alimentator care asigură avansul acesteia, în mod controlat, în zona în care are loc încălzirea materialului, la 1900…2200 ^{0}C. Sursa de căldură poate fi un cuptor electric cu rezistențe de grafit sau cu inducție, arzătoare cu oxigen şi hidrogen sau un laser cu CO_2 , utilizarea fiecăreia din aceste surse prezentând atât avantaje, cât şi dezavantaje. O condiție foarte importantă este ca incinta de încălzire să fie foarte curată, pentru a preveni impurificarea materialului optic. Menținerea temperaturii la valoarea prescrisă se realizează cu ajutorul unui pirometru optic sau al unui termocuplu.

Temperatura la care se încălzeşte materialul trebuie să asigure înmuierea acestuia până când vâscozitatea lui să permită tragerea în fibre. Viteza de tragere este de 0,5…1,5 m/s, iar lungimea fibrelor poate ajunge până la 300 km. Pe traiectul dintre zona de tragere şi bobina de înfăşurare, diametrul fibrei şi abaterile de formă ale secțiunii sale transversale, se controlează continuu cu un micrometru

cu laser. Dacă se constată abateri mai mari de 0,1%, sistemul de reglare modifică viteza de tragere. Echipamentul de tragere a fibrei mai include vase cu polimeri în stare lichidă şi cuptoare de încălzire cu raze ultraviolete pentru polimerizarea răşinii sintetice. Acoperirea cu polimer a fibrei are rolul de a asigura protecția acesteia la acțiunea mecanică şi chimică a mediului înconjurător.

Fibrele optice sunt supuse apoi unui control sever privind rezistența la tracțiune, indicele de refracție, diametrul şi grosimea stratului de protecție, coeficientul de atenuare a semnalului optic, capacitatea de transport a informațiilor, dispersia cromatică, temperatura de lucru, rezistența la umiditate, influența temperaturii asupra atenuării semnalului optic şi capacitatea de a transmite semnale luminoase sub apă.

După trecerea acestor teste severe, fibrele optice se montează în cabluri care le asigură protecție mecanică şi chimică. Un astfel de cablu (fig. 3.63) are o inimă de oțel care constituie elementul de rezistență mecanică, în jurul căreia se montează fibrele optice, precum şi mai multe teci de protecție la acțiunea mediului în care se va afla cablul de fibre optice.

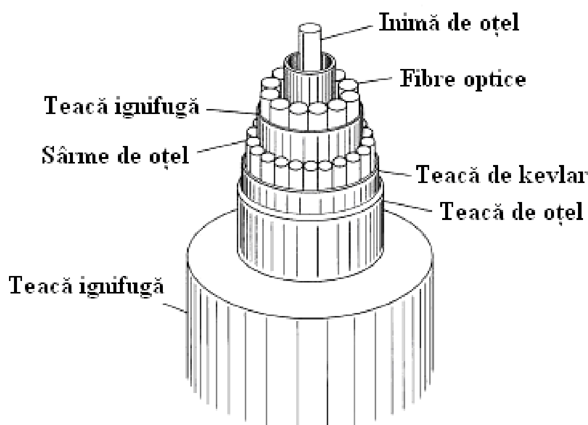


Fig. 3.63. Cablu de fibre optice.

Pe lângă fibrele optice din sticlă prezentate mai sus, care se utilizează pentru distanțe lungi, există şi fibre optice din material plastic (POF). Acestea sunt mult mai ieftine, se prelucrează la temperaturi joase şi se conectează uşor, dar au caracteristici optice net inferioare în raport cu cele ale sticlei. Ele se folosesc numai pentru transmisii la distanțe mici (100...200 m). Ca materii prime se folosesc polimetacrilatul (PMMA) şi anumiți polimeri fluorizați. Miezul fibrei are un diametru de circa 100 de ori mai mare decât în cazul sticlei, dar fragilitatea sa este mult mai scăzută.

3.6.2.5. Aplicațiile fibrelor optice. Aplicațiile fibrelor optice sunt numeroase, cele mai importante vizând următoarele domenii:

a) – Telecomunicațiile utilizează fibre optice atât pentru distanțe scurte, cât şi pentru distanțe lungi. Pe distanțe scurte, cum ar fi rețeaua unei clădiri, fibrele

optice economisesc spațiu în conductele de cablu, deoarece o singură fibră poate transporta mai multe date decât un cablu electric. Fibrele optice sunt imune la interferențele electrice şi electromagnetice, ele constituind o soluție bună pentru protejarea echipamentelor de comunicații aflate în medii de înaltă tensiune, cum ar fi centralele electrice sau structurile metalice vulnerabile la trăsnet. Ele se pot utiliza şi în medii explozive, fără nici un pericol.

Fibrele optice sunt deosebit de avantajoase pentru distanțe lungi, unde debitul şi viteza de transmitere sunt foarte mari, cu pierderi mici pe parcurs. Oceanul planetar este străbătut de rețele de telecomunicații prin fibre optice unimodale care leagă toate țările şi continentele.

b) – Senzorii cu fibră optică se folosesc la măsurarea tensiunii, temperaturii, presiunii, forței şi a altor mărimi fizice care modelează intensitatea, faza, polarizarea, lungimea de undă sau durata de trecere a luminii. Ei pot fi intrinseci (sunt ei înşişi fibre optice) sau extrinseci. Senzorii extrinseci utilizează fibrele optice pentru a conecta un senzor de un alt tip la sistemul de măsurare. Un avantaj major al senzorilor extrinseci este posibilitatea ajungerii în locuri altfel inaccesibile, cum ar fi măsurarea temperaturii din interiorul motoarelor cu reacție ale avioanelor, cu o fibră care transmite semnale unui pirometru aflat în afara motorului. De asemenea, pot fi utilizați în acelaşi fel, pentru măsurarea temperaturii interne a transformatoarelor electrice, unde câmpurile electromagnetice puternice fac imposibilă folosirea altor tehnici de măsurare.

c) – Medicina foloseşte fibrele optice în endoscopie şi chirurgie. Endoscopia este o metodă de examinare pe viu a unui organ cavitar sau tubular cu ajutorul fibrelor optice care transportă lumina în interiorul corpului. Această lumină este reflectată de organele interne şi captată de alte fibre optice care o dirijează către un sistem video, fiind astfel posibilă o vedere de ansamblu şi de foarte bună calitate a unor organe interne (gastroscopie, bronhoscopie, rectoscopie).

Chirurgia asociată cu un fascicul laser este o metodă mai puțin invazivă şi periculoasă decât cea clasică, folosindu-se la pulverizarea calculilor renali sau biliari, la extirparea unor tumori sau la operații pe retină. Întrucât ea nu necesită decât o anestezie locală, pacientul este internat pentru o perioadă foarte scurtă de timp, ceea ce asigură multiple economii.

d) – Alte aplicații ale fibrelor optice se referă la iluminatul muzeelor şi la amenajarea spațiilor de agrement public şi domestic (bazine, piscine, fântâni). Fibrele optice se mai folosesc la iluminarea instrumentelor de măsură şi control. Un sistem optic poate încorpora mai multe instrumente care, de obicei, se iluminează separat, folosind becuri cu incandescență. Un cablu optic poate diviza fasciculul de lumină cu ajutorul fibrelor, fiecare fibră asigurând iluminarea unui instrument.

În spectrometrie, cablurile de fibre optice sunt utilizate pentru a transmite lumina de la un spectrometru la o substanță care nu se poate introduce în interiorul acestuia, pentru a i se analiza compoziția. Spectrometrul va analiza substanțele trecând lumină prin ele şi recepționând lumina reflectată de ele, exact ca endoscopul. Se poate astfel determina compoziția chimică a unor obiecte voluminoase, precum şi a unor gaze aflate în vase sub presiune, chiar în timpul reacțiilor chimice.

Alte aplicaţii ale fibrelor optice se referă la panourile de informare, semnalizarea rutieră şi de orientare, balizare şi la fabricarea captoarelor şi giroscoapelor.

În concluzie, fibrele optice reprezintă cel mai bun mijloc de transport pe orice distanţă a unor debite mari de informaţii, cu pierderi minime la sosire. Telefonia, radioul, televiziunea, internetul şi alţi operatori de date informatice vor folosi o singură conexiune, cu costuri mai mici şi o calitate mai bună a transmisiilor.

3.6.3. Betoane avansate

3.6.3.1. Generalităţi. Betonul este produsul industrial cel mai folosit în lume, fiecărui locuitor revenindu-i peste un metru cub de beton pe an. Cimentul, unul din principalii componenţi ai betonului, este şi un important poluator al mediului, cu circa 7% emisii de CO_2, care provin din arderea combustibililor fosili în fabricile de producere. Pentru reducerea emisiilor de CO_2 în atmosferă, marii producători de ciment încearcă înlocuirea clincherului cu alţi componenţi care nu reclamă calcinarea (tufuri vulcanice, zgură de furnal, cenuşă de la termocentralele pe cărbune).

Pornind de la aceste considerente, cercetătorii din domeniu şi-au pus şi problema creşterii durabilităţii betonului, pentru realizarea unor construcţii care să dureze mai mult şi care să conducă la o raţionalizare a consumului de beton. Aşa au apărut *betoanele avansate* care răspund acestor nevoi, dar care au şi unele proprietăţi pe care betonul obişnuit nu le are.

3.6.3.2. Betonul autonivelant a fost inventat în 1978 în SUA, sub denumirea de ARDEX K 15, fiind un beton foarte fluid, obţinut prin mărirea cantităţii de nisip fin şi ciment şi adăugarea de fibre acrilice, răşini sintetice şi aditivi. Contrar aparenţelor, cantitatea de apă necesară preparării lui este mai mică decât în cazul betonului clasic. El se poate turna peste orice substrat (beton obişnuit, cărămizi, lemn, ceramică), umple toate interstiţiile şi curge ca un lichid, având o suprafaţă perfect orizontală, după principiul vaselor comunicante. Suprafaţa sa este netedă, putând fi colorată cu pigmenţi minerali de diferite culori.

Rezistenţa la compresiune a betonului autonivelant este similară sau superioară faţă de cea a betonului clasic, etanşeitatea foarte bună, iar durabilitatea ridicată. Un alt avantaj al său constă în faptul că în timpul turnării nu trebuie vibrat, înlăturându-se astfel pericolul încorporării unor bule de aer, precum şi zgomotul produs de vibratoare. Este rezistent la sare, la îngheţ, la şocuri termice, la acţiunea agenţilor chimici şi este uşor de întreţinut.

Pentru o bună aderenţă la substrat, este necesară folosirea unei amorse specifice. Grosimea stratului de beton autonivelant este de 5…10 mm. El se foloseşte atât pentru suprafeţe exterioare, cât şi pentru suprafeţe interioare (terase, holuri de intrare, spaţii comerciale, recepţii de hoteluri, birouri, restaurante), singurele sale dezavantaje fiind preţul (circa 100 Euro/m^3) şi puţinele firme care îl produc.

3.6.3.3. Betonul decorativ reprezintă o inovare eficientă care uşurează amenajarea şi decorarea oricărui spaţiu, public sau privat, şi care este compatibil cu orice proiect de construcţie. Din această categorie fac parte *betonul amprentat* şi *betonul superfinisat*.

a) – Betonul amprentat (***imprimat***) este un material de construcție compozit, obținut printr-o tehnologie specială, care conține agregate, ciment, coloranți, aditivi, fibre elastice şi apă, fiind pus în operă prin imprimare cu ajutorul unor matrițe care copiază aspectul şi forma pietrelor naturale, cărămizilor, granitului, lemnului sau ale altor texturi naturale sau imaginare. Apărut în anii 1970, astăzi este în mare vogă, în toată lumea.

Peste pământul tasat (fig. 3.64) se aşază un strat de agregate de 5…10 cm grosime, pentru stabilitate şi ruperea capilarității şi apoi o folie groasă de polietilenă şi un strat de beton obişnuit (B 350), cu grosimea de 10..15 cm, aditivat cu fibre din material plastic, pentru creşterea elasticității şi a rezistenței la ciclurile de îngheț-dezgheț. După nivelare, suprafața betonului se impregnează cu un strat foarte dur de colorant-întăritor, format dintr-o mixtură de ciment, agregate dure, aditivi şi pigmenți stabili la razele ultraviolete. În continuare, se mai aplică un strat de pulbere pentru obținerea efectului de învechire şi un praf decofrant. Amprentarea sau imprimarea se realizează cu matrițe special concepute pentru a obține diferite forme în beton şi a oferi suprafeței finale un aspect omogen. După spălarea pavajului, pe suprafața acestuia se aplică un lac acrilic care, după uscare, asigură betonului o protecție sigură la acțiunea apei şi a razelor ultraviolete.

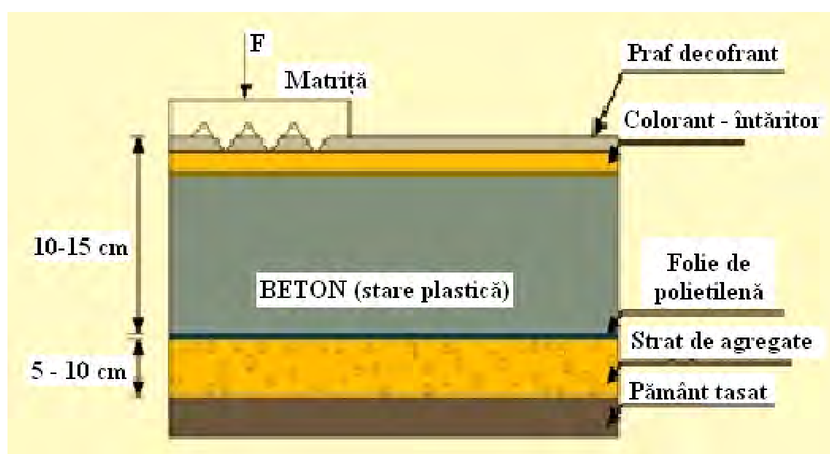


Fig. 3.64. Obținerea betonului amprentat.

Pavajul astfel obținut (fig. 3.65) reprezintă soluția ideală pentru amenajarea durabilă şi estetică a spațiilor din curțile interioare, a aleilor, garajelor, teraselor, zonelor din imediata apropiere a piscinelor, dar şi a spațiilor largi precum trotuarele, drumurile din zonele rezidențiale, piețe, parcări sau stații de carburanți. El prezintă următoarele avantaje: rezistență mare la compresiune; o foarte mare durabilitate şi rezistență la ciclurile de îngheț-dezgheț şi la acțiunea razelor ultraviolete; nu se scufundă şi nu se deformează, spre deosebire de pietriş, asfalt sau pavaj; este foarte rezistent la abraziune; asigură un design personalizat, printr-o gamă largă de modele şi culori. Dezavantajele sale constau într-un cost mai ridicat şi o tehnologie de execuție mai complexă.



Fig. 3.65. Beton amprentat.

b) – Betonul superfinisat (***elicopterizat***) este un beton cu rezistență abrazivă şi duritate mari, folosit la pardoselile industriale cu trafic intens (fig. 3.66). Peste stratul de beton proaspăt se toarnă încă un strat de beton compus din agregate minerale (cuarț, corindon, bazalt), ciment, pigmenți colorați şi aditivi. După aplicarea întăritorului pe suprafața proaspătă se va recurge, printr-un sistem mecanic, la încorporarea întăritorului în beton, conferindu-i acestuia duritate şi rezistență la uzură. Ca aditivi se folosesc fibre de polipropilenă care împiedică apariția microfisurilor în beton, făcându-l impermeabil.



Fig. 3.66. Beton superfinisat.

Denumirea de *beton elicopterizat* vine de la maşina de încorporat şi lustruit folosită (fig. 3.67), care are nişte pale asemănătoare celor de elicopter. Betonul

astfel finisat are o rezistență mare la uzură, un nivel ridicat de reflexie a luminii (măreşte intensitatea luminii ambientale cu 30%), se întreține uşor, poate fi colorat în funcție de preferință şi nu are puncte slabe, rezistența şi alte proprietăți fiind aceleaşi în toată masa lui. El se recomandă în zonele cu trafic intens: hale industriale, fabrici, depozite, hangare, piețe, centre comerciale, stații de carburanți, spălătorii de maşini şi muzee.



Fig. 3.67. Maşină de superfinisat betonul.

3.6.3.4. Betonul cu fibre este un material compozit ranforsat cu fibre scurte repartizate uniform şi orientate aleatoriu. Suprafața rugoasă a fibrelor asigură legături optime în toate tipurile de beton. Rezistența la compresiune a acestor betoane este de circa 6 ori mai mare decât a unui beton obişnuit (fig. 3.68).

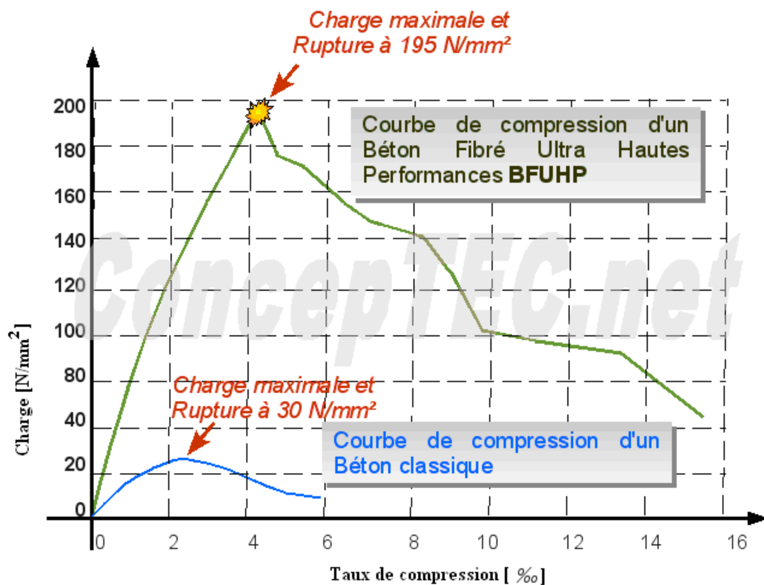


Fig. 3.68. Rezistența la compresiune a betoanelor obişnuit şi cu fibre.
[Sursa: ConcepTEC.net/171]

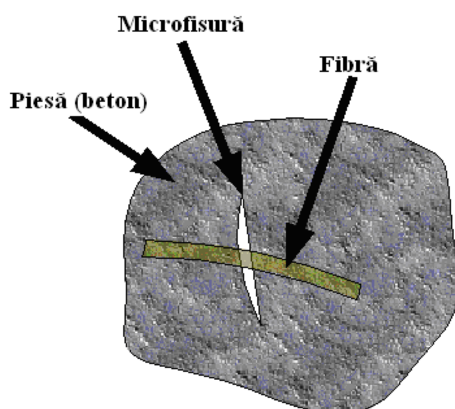


Fig. 3.69. Beton cu fibre.

După natura lor, fibrele pentru armarea betonului pot fi de sticlă, metalice sau din polimeri. Cele mai răspândite sunt fibrele din polipropilenă, cu lungimi de 6…20 mm şi diametre de 16…20 μm. Ele se folosesc îndeosebi pentru evitarea fisurării betonului în timpul întăririi (fig. 3.69), dar şi pentru creşterea rezistenței la uzură şi a elasticității, precum şi pentru reducerea permeabilității betonului. Cantitatea de fibre este de 0,1…3% din volumul betonului. Rezistența la fisurare a betonului creşte astfel de circa 500 de ori.

Betonul cu fibre este rezistent la uzură şi la ciclurile de îngheț-dezgheț şi are un modul de elasticitate mai mare cu 20% decât a betonului normal, ceea ce îi conferă rezistență la şocuri mecanice (zguduiri, cutremure, bombardamente). Prin utilizarea fibrelor se suplinesc unele adaosuri de compuşi chimici care conferă betonului rezistențe la întindere şi forfecare şi accelerarea întăririi. Dacă în cazul betonului armat avem nevoie de 25…30 kg de oțel-beton/m^3, în cazul betonului cu fibre este necesar doar 1 kg de fibre de armare, în condițiile creşterii rezistențelor la întindere şi încovoiere cu circa 20%. Diferența de costuri este vizibilă. În unele cazuri, firele de oțel pot înlocui complet armătura metalică a oțelului-beton.

Aplicațiile practice ale betoanelor cu fibre sunt numeroase: platforme industriale, torcretarea tunelurilor şi a galeriilor miniere, construcții industriale din elemente prefabricate, dale carosabile, fundații cu solicitare dinamică, conducte subterane, consolidarea taluzurilor, versanților şi a pereților stâncoşi, stâlpi structurali, construcții rezistente la solicitări de impact, repararea şi consolidarea elementelor de construcție din beton supuse uzurii de natură mecanică sau exploatării îndelungate.

3.6.3.5. Betonul fotocatalitic se bazează pe efectul de fotocataliză, adică pe acțiunea prin care se grăbeşte o reacție chimică sub influența luminii şi a unui catalizator. În timpul reacției, catalizatorul nu se consumă şi nu se degradează. Fotocataliza este asemănătoare cu sinteza clorofilei din plante. Utilizând lumina, apa şi oxigenul din aer, fotocataliza produce molecule foarte reactive, numite radicali liberi, care descompun unele substanțe organice sau anorganice din atmosferă, uneori nocive, în compuşi total inofensivi, prin reacții de oxido-reducere.

Cel mai cunoscut fotocatalizator este TiO_2, un pigment alb, stabil termodinamic, netoxic şi economic. El se introduce în vopsele, sticlă, gresie sau beton, pentru menținerea esteticii fațadelor clădirilor şi pentru diminuarea poluării atmosferice. Reacția fotocatalitică are loc la suprafața materialului şi se desfăşoară în mai multe faze. Prin acțiunea luminii asupra TiO_2 (material semiconductor) se formează electroni liberi care se pot combina cu noxele depuse pe suprafața

betonului sub formă de smog (NO_x, SO_x, gaze de eşapament, fum, formaldehidă, benzen, pesticide, alcooli, viruşi, bacterii, polen, acarieni), formând produse mai puțin nocive sau chiar inofensive (sulfați, nitrați, O_2, CO_2, H_2O). Aceste produse sunt uşor de îndepărtat de pe suprafața betonului de către prima ploaie care va cădea. Viteza reacției catalitice depinde de intensitatea luminii, de cantitatea de TiO_2 de la suprafața betonului şi de durata contactului dintre TiO_2 şi smogul depus pe construcție. În general, cantitatea de dioxid de titan încorporată în suprafața betonului este de circa 5% din masa cimentului.

Betonul fotocatalitic a fost inventat în Italia de Grupul Italcementi, în anii 1990, şi folosit inițial la ridicarea celebrei Biserici a Jubileului din Roma, inaugurată în 2003 (fig. 3.70).



Fig. 3.70. Biserica Jubileului de la Roma.

Astăzi, mai multe firme din Europa, America de Nord şi Japonia îl folosesc atât pentru construirea fațadelor diverselor edificii, cât şi pentru pavarea şoselelor şi trotuarelor, în vederea reducerii noxelor atmosferice. Testele efectuate în laboratoare au arătat că folosirea materialelor de construcții fotocatalitice (betoane, mortare şi vopsele) asigură reducerea poluării cu 20…80%, în funcție de orientarea vântului.

Betonul fotocatalitic este un material de construcție de mare importanță pentru viitor, având în vedere cele două avantaje majore ale sale: este un material estetic care nu trebuie curățat niciodată şi în acelaşi timp este un depoluant al mediului înconjurător.

3.6.3.6. Betonul conductor (**betonul autodejivrant**) a fost inventat recent în Canada şi se bazează pe principiul *percolării electrice*, conform căruia conductibilitatea electrică a materialelor de ranforsare a betonului creşte considerabil dacă se depăşeşte un anumit prag critic. El conține materiale bune conducătoare de electricitate încorporate într-o matrice de beton, astfel încât să se permită trecerea curentului electric. Ca materiale de ranforsare se utilizează fire şi aşchii de oțel (1,5%), fibre de carbon, grafit şi cocs (25% din volumul betonului).

Betonul conductor se poate obține fie prin malaxarea obişnuită a produselor componente, obținându-se un beton cu rezistivitate electrică mare şi rezistență la compresiune mică, fie prin infiltrarea pastei de beton în rețeaua de ranforsare, obținându-se un beton cu rezistivitate electrică mică şi rezistență la compresiune mare (tabelul 3.11).

Betonul conductor, fiind mai scump, se foloseşte de obicei la placarea unor structuri din beton obişnuit, dar se poate utiliza şi ca atare. El prezintă următoarele avantaje: conductibilitatea electrică este stabilă, indiferent de factorii de mediu; proprietățile mecanice sunt foarte bune; este mai uşor decât betonul clasic cu circa 30%; este compatibil cu betonul clasic, putându-se turna peste acesta; elimină total cheltuielile pentru înlăturarea gheții şi zăpezii; se poate produce uşor, fără echipamente speciale; asigură reducerea accidentelor datorate condițiilor meteorologice.

Tabelul 3.11. **Proprietățile betonului conductor**

Proprietățile betonului	**Procedeul de obținere**	
	Malaxare obişnuită	**Infiltrarea pastei**
Rezistivitatea electrică [Ω·cm]	1-30	0,1-5
Rezistența la compresiune [MPa]	30-50	60-100
Rezistența la încovoiere [MPa]	5-15	10-30
Densitatea [kg/m^3]	1450-1850	2000-2500

Datorită calităților sale, betonul conductor poate avea următoarele aplicații:

● încălzirea electrică a spațiilor exterioare care trebuie dejivrate în timpul iernii (parcări, trotuare, alei, poduri rutiere şi piste de aeroporturi), alimentarea cu curent făcându-se direct de la rețeaua electrică existentă. În felul acesta se înlătură complet folosirea sării şi se oferă o alternativă eficace şi ecologică pentru dejivrare;

● încălzirea electrică a spațiilor publice interioare prin planşee, soluție care s-ar putea să fie mai economică decât cea actuală;

● punerea la pământ a instalațiilor electrice pentru protecție împotriva electrocutării sau în caz de trăsnet;

● protecția catodică a structurilor metalice îngropate prin reducerea densității de curent datorită suprafeței mari a betonului, care se poate folosi ca anod secundar;

● protecția echipamentelor informatice civile şi militare contra piratării lor, având în vedere faptul că acest beton atenuează circa 90% din energia electromagnetică şi undele radio (blindaj electromagnetic sau cuşcă Faraday).

Betonul conductor a fost experimentat cu succes în câteva locuri din America de Nord şi va fi, cu siguranță, unul din materialele cu mare impact în viitorul apropiat.

3.6.3.7. Betonul translucid a fost inventat în anul 2001 de arhitectul maghiar Áron Losonczi sub denumirea de ***LiTraCon*** (***Li***ght ***Tra***nsmitting ***Con***crete) şi produs numai de compania acestuia, *LiTraCon Bt*, din Csongrád – Ungaria. Este un beton foarte fin armat cu fibre de sticlă cu plumb (cristal) care intră şi ies prin două fețe opuse ale blocului sau panoului de beton. Fibrele de sticlă reprezintă circa 4% din volumul total al blocului şi sunt repartizate uniform şi paralel sau sub formă de fibre lemnoase în masa betonului, la intervale de 2…5 mm. Materialul este translucid pentru că miile de fibre de sticlă transferă lumina între cele două fețe opuse ale fiecărui bloc de beton (fig. 3.71). Blocurile de beton au dimensiunile de 600×300 mm şi grosimea de 25…500 mm, iar fibrele de sticlă au diametre de la 2 μm la 2 mm.



Fig. 3.71. Beton translucid.

Betonul translucid se foloseşte deja în construcția pereților despărțitori ai clădirilor, asigurând mai multă lumină încăperilor. Posibilele aplicații viitoare ale sale sunt stațiile de metrou, trotuarele iluminate pe timp de noapte sau chiar realizarea unor clădiri, având în vedere faptul că rezistența sa la compresiune ajunge la 70 MPa.

3.6.3.8. Alte tipuri de betoane avansate. ***Betonul-ecran*** a fost inventat, recent, la prestigioasa şcoală britanică de arte aplicate şi design – Royal College of Art Innovation Unit – sub denumirea de *Chronos Chroromos Concrete*. Acest beton are proprietatea de a-şi schimba culoarea, afişând cifre, texte sau desene pe suprafața sa (fig. 3.72). El este, de fapt, un beton celular care conține cerneluri



Fig.3.72. Betonul-ecran.

termosensibile şi un circuit electric integrat care, la trecerea curentului, încălzeşte local betonul, producând schimbarea culorii cernelii. Circuitul electric este alcătuit din conductoare de nichel-crom, cu rezistivitate mare.

Acest beton futurist ar putea revoluționa tehnica transmisiilor video, prin realizarea unor ecrane-gigant, de ordinul sutelor de metri pătrați.

Betonul autoreparabil conține fibre tubulare cu diametrul interior de circa 60 μm, umplute cu anumite substanțe chimice care se întăresc, în contact cu aerul sau cu alte substanțe conținute de beton. Astfel, la apariția unei microfisuri în masa betonului, substanța chimică este eliberată din interiorul fibrei, pătrunde în microfisură, se întăreşte şi evită extinderea acesteia.

În ceea ce priveşte natura substanțelor chimice încorporate în fibrele tubulare, există mai multe rețete, începând cu anumite răşini epoxidice şi terminând cu silicatul de sodiu care reacționează cu hidroxidul de calciu, prezent în beton, cu formarea unui gel de silice care se întăreşte în fisură. În toate cazurile, reacțiile chimice sunt foarte rapide, evitând extinderea fisurilor.

Aplicațiile acestui beton sunt multiple, referindu-se la toate construcțiile importante, dar îndeosebi la poduri şi viaducte, care au termene exacte şi precise de verificare.

3.6.4. Materiale supraconductoare

3.6.4.1. Generalități. Supraconductibilitatea este un fenomen în care rezistivitatea electrică a unui material tinde spre zero, dacă temperatura sa este mai mică decât o anumită valoare specifică materialului, numită temperatură critică. Sub această temperatură, materialele supraconductoare exclud câmpurile magnetice la care sunt supuse (efectul Meissner), iar rezistența lor electrică scade la zero, permițând circulația curentului electric fără nicio pierdere (fig. 3.73).

Acest fenomen a fost descoperit de fizicianul olandez Heike Kamerlingh Onnes de la Universitatea din Leyda, în anul 1911. Răcind mercurul în heliu lichid, la 4,2 K (–269 ^{0}C), a observat că rezistența electrică a mercurului a scăzut brusc la zero. Onnes şi-a extins cercetările asupra altor materiale supraconductoare, fiind recompensat cu Premiul Nobel pentru fizică în anul 1913. Istoria supraconductibilității are deci un secol, fiind prezentată în fig. 3.74 şi tabelul 3.12. Supraconductibilitatea poate fi anulată de temperatură ($T > T_c$), de efectul câmpurilor magnetice intense ($H > H_c$) şi de efectul frecvențelor înalte ($f > 10^{13}…10^{14}$ Hz).

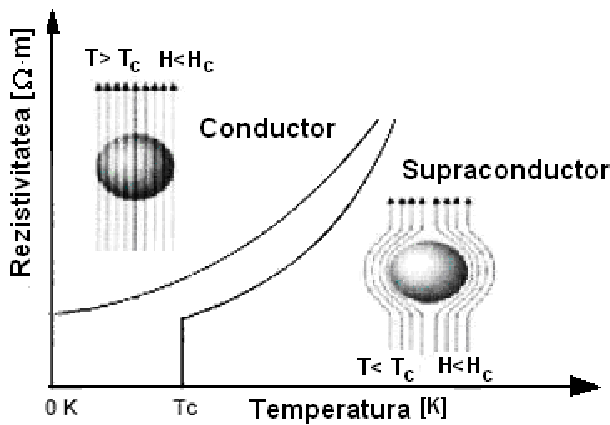


Fig.3.73. Variația rezistivității cu temperatura.

Fig.3.74. Evoluția materialelor supraconductoare.

3.6.4.2. Tipuri de materiale supraconductoare. La ora actuală există câteva mii de tipuri de materiale supraconductoare, numărul acestora fiind în continuă creştere. În funcție de proprietățile şi natura lor, acestea pot fi:

Tabelul 3.12. **Istoricul materialelor supraconductoare**

Anul	Evoluţia materialelor supraconductoare
1911	Fizicianul Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), de la Universitatea din Leyda a răcit mercurul la –269 ^oC, constatând că rezistenţa sa electrică a dispărut. Pentru această descoperire a fost răsplătit cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1913.
1933	Fizicienii germani Fritz Walther Meissner (1882-1974) şi Robert Ochsenfeld (1901-1993) au descoperit că materialele supraconductoare (plumb şi cositor răcite la o temperatură critică) resping liniile unui flux magnetic exterior, ceea ce se poate constata cu un magnet care stă în stare de levitaţie deasupra materialului. Curenţii electrici de ecranare care circulă la suprafaţa supraconductorului generează un câmp magnetic care anulează câmpul magnetic aplicat. Acest fenomen se numeşte *efect Meissner* sau *diamagnetism perfect.*
1957	Fizicienii americani John Bardeen (1908-1991), Leon Cooper (n. 1930) şi John Schrieffer (n. 1931) au pus bazele teoretice ale supraconductibilităţii prin *teoria BCS* (iniţialele numelor savanţilor), pentru care au primit Premiul Nobel pentru fizică (1979). John Bardeen mai primise un astfel de premiu şi în 1956 pentru cercetări în domeniul semiconductoarelor.
1962	Fizicianul britanic Brian D. Josephson (n.1940), în timp ce era student în ciclul III de învăţământ la Universitatea din Cambridge, a descoperit *efectul Josephson* (curentul electric curge între două materiale supraconductoare chiar şi atunci când acestea sunt separate de un strat izolator), fiind recompensat cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1973, la numai 33 de ani. *Efectul Josephson* se foloseşte astăzi la detectarea câmpurilor magnetice foarte slabe.
1979	O echipă formată din cercetătorul danez Klaus Bechgaard (n. 1945), de la Universitatea din Copenhaga şi trei francezi (D. Jérôme, A. Mazaud şi M. Ribault), a sintetizat primul supraconductor organic [$(TMTSF)_2$ PF_6], răcit la 1,2 K (-272 ^0C) şi supus unei presiuni înalte.
1986	Fizicienii Alex Müller (n. 1927 în Elveţia) şi Georg Bednorz (n. 1950 în Germania), cercetători la Laboratorul IBM din Zürich (Elveţia) au descoperit ceramica supraconductoare, fiind răsplătiţi cu Premiul Nobel pentru fizică, în 1987.
1987	Descoperirea ceramicii supraconductoare a declanşat o adevărată întrecere între cercetători pentru găsirea unor noi combinaţii ceramice care să crească temperatura critică. Astfel, cercetătorii Wu Maw-Kuen de la Universitatea Alabama din Huntsville (în prezent, diectorul Insitutului de Fizică a Academiei Sinica din Taiwan) şi Paul Chu de la Universitatea din Houston (n. 1941, în prezent preşedintele Universităţii de Ştiinţă şi Tehnologie din Hong Kong) au înlocuit lantanul şi stronţiul din $La_{2-x}Sr_xCuO_4$, cu ytriu şi bariu, obţinând un nou material ceramic supraconductor ($YBa_2Cu_3O_7$), cu temperatura critică de –181 ^oC, peste cea a azotului lichid (–195,79 ^oC) care este un agent de răcire uzual.
1988	Aleen Hermann de la Universitatea din Arkansas a realizat un supraconductor ceramic pe bază de calciu şi taliu cu temperatura critică de –153 ^oC.
1993	Profesorul Ulker Onbasli de la Universitatea din Colorado şi cercetătorii A. Schilling, M. Cantoni, J.D. Guo şi H.R. Ott de la Laboratorul IBM din Zürich au sintetizat primul supraconductor ceramic din clasa cupraţilor de mercur, cu formula chimică $(Hg_{0,8}Tl_{0,2})Ba_2Ca_2Cu_3O_{8,33}$, cu temperatura critică de 138 K (–135 ^0C).

a) – Supraconductoarele de tipul I sunt reprezentate de metalele şi metaloizii cu conductibilitate electrică medie sau bună, la temperatura mediului

ambiant. Acestea au fost descoperite primele şi necesită o temperatură foarte scăzută pentru a deveni supraconductoare şi se caracterizează printr-un diamagnetism perfect (tabelul 3.13). Ca o curiozitate, dintre aceste materiale lipsesc argintul, aurul şi cuprul, metale cu o foarte bună conductibilitate electrică dar cu rețele cristaline specifice şi cu legături strânse între electroni.

Tabelul 3.13. **Supraconductoare de tipul I**

Elementul	**Simbol**	**Temperatura critică [K]**	**Elementul**	**Simbol**	**Temperatura critică [K]**
Carbon	C	15	Zinc	Zn	0,85
Plumb	Pb	7,2	Osmiu	Os	0,66
Lantan	La	4,9	Zirconiu	Zr	0,61
Tantal	Ta	4,47	Americiu	Am	0,60
Mercur	Hg	4,15	Cadmiu	Cd	0,517
Staniu	Sn	3,72	Ruteniu	Ru	0,49
Indiu	In	3,40	Titan	Ti	0,40
Taliu	Tl	1,70	Uraniu	U	0,20
Reniu	Re	1,69	Hafniu	Hf	0,128
Protactiniu	Pa	1,40	Iridiu	Ir	0,1125
Toriu	Th	1,38	Luteţiu	Lu	0,100
Aluminiu	Al	1,175	Beriliu	Be	0,026
Galiu	Ga	1,10	Wolfram	W	0,0154
Gadoliniu	Gd	1,083	Platină	Pt	0,0019
Molibden	Mo	0,915	Rodiu	Rh	0,000325

b) – Supraconductoarele de tipul II cuprind compuşi metalici, aliaje şi oxizi ceramici, cu temperaturi mai mari decât ale celor de tipul I. Primul supraconductor de tip II a fost fabricat în 1930 de fizicianul danez W.J. de Haas (1878-1960), fiind un aliaj Pb-Bi, şi recunoscut ca atare numai după descoperirea efectului Meissner. Supraconductoarele de tipul II au fost identificate în 1936 de către profesorul L.V. Shubnikov de la Institutul de Fizică şi Tehnologie din Harkov (Ucraina), care a constatat două câmpuri magnetice distincte ale aliajului $PbTe_2$. Ele se deosebesc de cele de tipul I prin trecerea treptată de la starea de conductibilitate la starea de supraconductibilitate, la cele de tipul I trecerea făcându-se brusc. De asemenea, ele permit o uşoară penetrare a câmpurilor magnetice exterioare în stratul lor superficial, ceea ce generează unele fenomene specifice (benzi supraconductoare şi fluxuri turbionare).

Există un număr mare de supraconductoare de tipul II, în tabelul 3.14 fiind prezentate câteva exemple.

c) – Supraconductoarele atipice cuprind alte tipuri de materiale în afara celor metalice sau ceramice, cele mai reprezentative fiind:

■ *Fullerenii* sunt molecule de carbon de formă sferică, elipsoidală sau de nanotuburi. Ei au fost descoperiți în 1985 de H.W. Kroto (n. în 1939, în Anglia), R.F. Curl (n. în 1933, în SUA) şi R.E. Smalley (n. în 1943, în SUA), cercetătorii fiind recompensați cu Premiul Nobel pentru chimie, în anul 1996. Foarte răspândiți

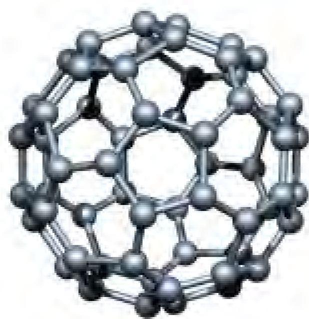


Fig. 3.75. Fulleren C_{60}.

pe suprafaţa Pământului, fullerenii constituie a treia formă alotropică a carbonului, după grafit şi diamant. Când au formă sferică, ei se aseamănă cu o minge de fotbal (fig. 3.75), având 60 de atomi de carbon care formează un spaţiu închis, de forma unui dom geodezic (poliedru neregulat convex înscris într-o sferă). Domul geodezic a fost inventat de arhitectul şi designerul american R.B.Fuller (1895-1983), fiind utilizat prima dată ca pavilion al SUA la Expoziţia Universală din 1967 de la Montreal. De la numele acestuia provine şi denumirea fullerenilor.

Prin doparea fullerenilor cu atomi ai metalelor alcaline se obţin *fulleride* care, de asemenea, au proprietăţi supraconductoare ($Na_2Rb_{0,5}Cs_{0,5}C_{60}$, Cs_3C_{60} K_3C_{60}).

Tabelul 3.14 . **Supraconductoare de tipul II**

Materialul	Temperatura critică [K]	Materialul	Temperatura critică [K]
$(Hg_{0,8}Tl_{0,2})Ba_2Ca_2Cu_3O_{8,33}$	138	$TlBa_2Ca_3Cu_4O_{11}$	112
$HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$	133-135	$Sn_3Ba_4Tm_{3,6x}CuO$	109
$Tl_2Ba_2Ca_2Cu_3O_{10}$	127-128	$Sn_4BaTm_{2,4}YCu_{7x}O$	104
$HgBa_2Ca_3Cu_4O_{10+}$	125-126	$Bi_2Sr_2(Ca_{0,8}Y_{0,2})Cu_2O_8$	95-96
$HgBa_2(Ca_{1-x}Sr_x)Cu_2O_{6+}$	123-125	$Tl_2Ba_2CuO_6$	95
$(Tl_{0,5}Pb_{0,5})Sr_2Ca_2Cu_3O_9$	118-120	$SnInBa_4Tm_{4,6x}CuO$	87
$Sn_2B_2(Tm_{0,5}Ca_{0,5})Cu_3O_{8+}$	115	$Ga_2Sr_2CaCu_4Y_{5x}O$	85
$SnInBa_4Tm_3Cu_5O_x$	113	$La_2Ba_2CaCu_5O_{9+}$	79

■ *Supraconductoarele organice* cuprind săruri moleculare, polimeri şi borocarburi. Sărurile moleculare sunt substanţe organice [$(TMTSF)_2$ PF_6, $(TMTSF)_2$ ClO_4], numite şi *sărurile lui Bechgaard* (după numele danezului care le-a descoperit), care devin supraconductoare la 0,4…12 K. Astăzi se cunosc peste 50 de astfel de substanţe, fără a avea însă aplicaţii practice. *Borocarburile* au fost descoperite în 1993 de profesorul Robert Cava de la Universitatea Princeton din SUA şi sunt combinaţii ale borului cu carbonul dopate cu atomi de pământuri rare şi nichel ($YNi_2B_2C_{15,5}K$, $TmNi_2B_2C_{11}K$).

■ *Fermionii grei* sunt compuşi ai unor pământuri rare (ceriu sau yterbiu) cu actinide (uraniu) care, la temperaturi joase, capătă proprietăţi de supraconductibilitate ($CeCu_2Si_2$, $CeCoIn_5$, $Al_3Yb_{0,94}$, U Pd_2Al_3). Sunt asemănători supracon-ductoarelor de tip I, dar deocamdată nu au aplicaţii practice.

■ *Rutenaţii* sunt oxizi de ruteniu dopaţi cu atomi ai altor elemente (Sr_2RuO_4, $SrYRuO_6$, $RuSr_2GdCu_2O_8$, $RuSr_2EuCu_2O_8$, $RuSr_2SmCu_2O_8$), deocamda-tă neprezentând aplicabilităţi practice.

3.6.4.3. Fabricarea materialelor supraconductoare. Având în vedere natura materialelor, compoziția lor chimică şi proprietățile şi formele pe care trebuie să le aibă semifabricatele, prelucrarea supraconductoarelor este un proces dificil, costisitor şi de durată, realizându-se prin mai multe procedee.

a) – Fabricarea pastilelor se face prin presarea amestecului de pulberi dintr-o singură parte sau din două părți (vezi fig. 3.27.a,b), cu tratamente termice riguros controlate.

b) – Fabricarea firelor cu intarsii este un proces complex şi costisitor şi se aplică supraconductoarelor de tipul NbTi sau Nb_3Sn (fig. 3.76). Se începe prin introducerea unor bare hexagonale ale acestor aliaje într-o conductă de cupru, cu diametrul de 100…250 mm, ansamblul fiind apoi decapat într-o baie cu soluție acidă. Conducta se sudează la capete cu capace, iar ansamblul rezultat este presat izostatic într-o cameră cu lichid sub presiune. Urmează o extrudare, o tragere şi mai multe trefilări, precum şi un tratament termic. După o răsucire şi o trefilare finală se realizează fire foarte subțiri cu diametre de 30…100 μm (fig. 3.77) Pornind de la aceste fire, se pot obține, prin răsucire, cabluri supraconductoare obişnuite (fig. 3.78.a) sau late (fig. 3.78.b).

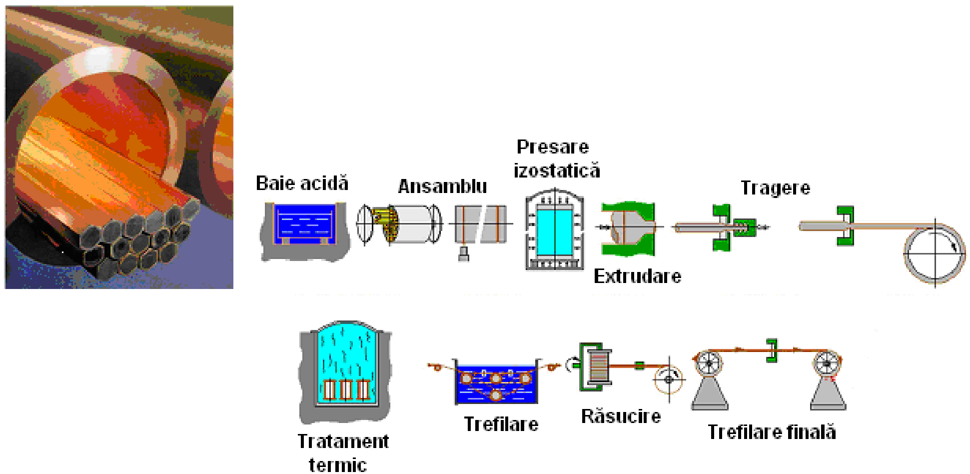


Fig. 3.76. Fabricarea firelor cu intarsii.

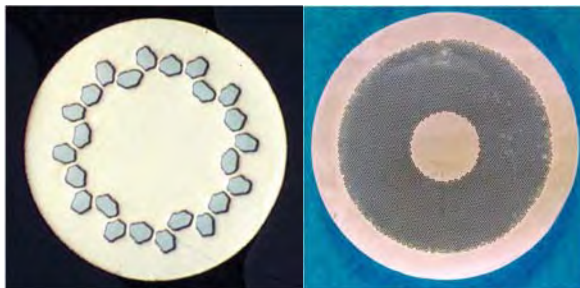


Fig. 3.77. Fire supraconductoare cu intarsii.

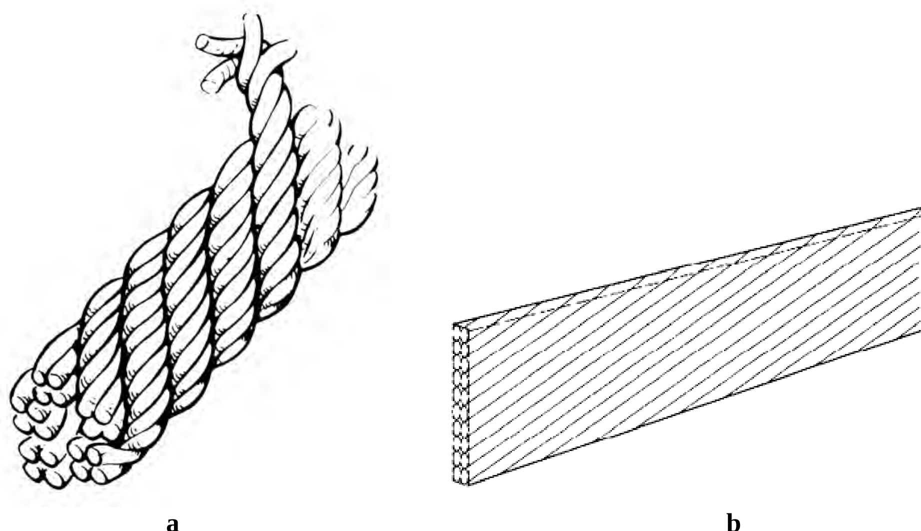


Fig. 3.78. Cabluri supraconductoare**.**

c) – Fabricarea benzilor se realizează îndeosebi prin depunere chimică de vapori (*CVD* – *C*hemical *V*apor *D*eposition). Procedeul constă în evaporarea materialului ce urmează a se depune pe un substrat, într-o cameră vidată, cu ajutorul unor impulsuri scurte de energie, de obicei un laser pulsator (fig. 3.79). Impulsul laser cu o durată de 10…40 μs este focalizat asupra ţintei, vaporizând atomii superficiali şi formând un jet de plasmă care conduce aceşti atomi asupra substratului pe care se condensează. Se formează, astfel, un strat subţire cu grăunţi orientaţi aleatoriu (fig. 3.80.a) sau după două direcţii (fig.3.80.b).

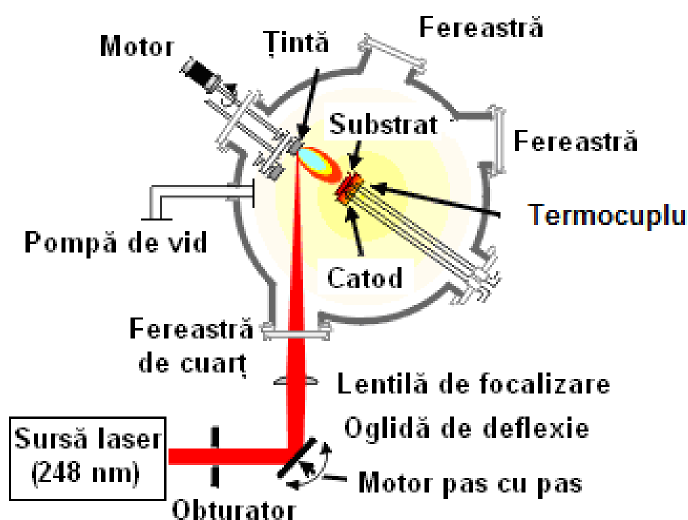


Fig. 3.79. Depunere chimică de vapori cu laser pulsator.

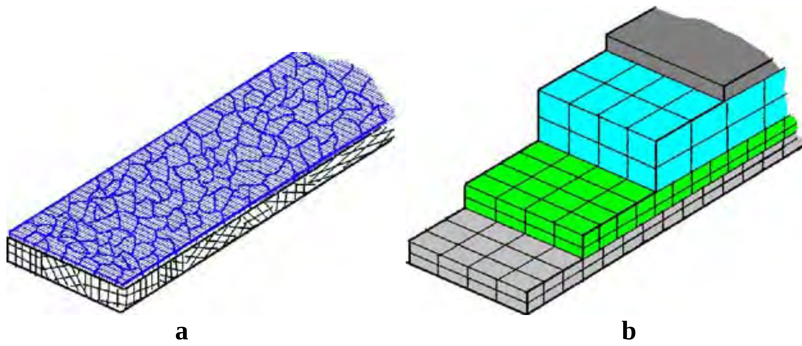

a **b**

Fig. 3.80. Arhitectura stratului depus.

Condiția realizării depunerii este ca procesul să se desfăşoare în vid. Fenomenul este încă insuficient cunoscut, în laboratoarele de specialitate făcându-se cercetări legate de natura materialului-țintă, energia laserului pulsator, distanța de la țintă la substrat, natura materialului substratului şi viteza lui de deplasare. Procedeul este recomandat în cazul materialelor ceramice, care nu se pot depune prin alte metode.

Schema de principiu a fabricării benzilor prin depunere chimică de vapori este prezentată în fig. 3.81.

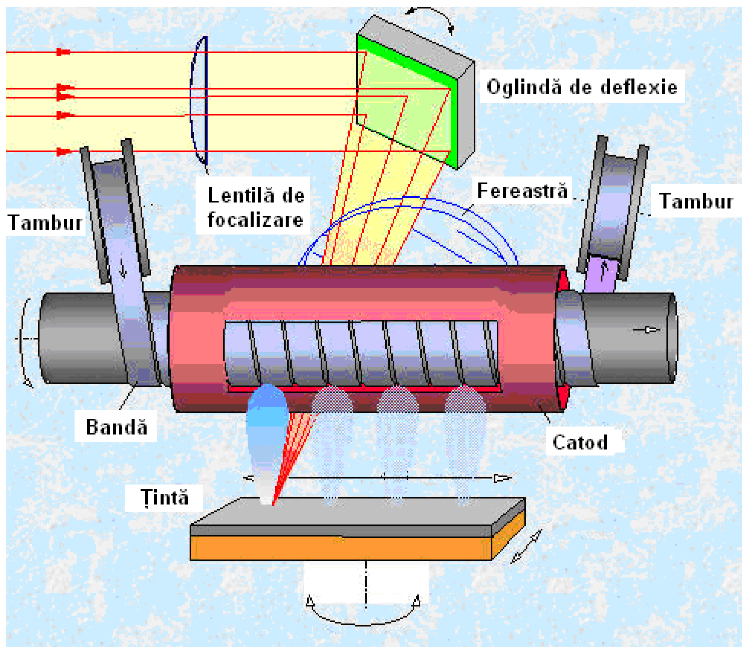


Fig. 3.81. Fabricarea benzilor supraconductoare.

3.6.4.4. Aplicațiile materialelor supraconductoare. Multă vreme, visul cercetătorilor a fost descoperirea unor supraconductoare la temperatura azotului

lichid, ceea ce s-a realizat în 1987. Astăzi, există mai multe tipuri de materiale supraconductoare cu temperaturi critice ridicate, cu multiple aplicaţii practice.

a) – Aplicaţiile medicale se referă la *imageria prin rezonanţă magnetică* (IRM) şi la *rezonanţa magnetică nucleară* (RMN). Imageria prin rezonanţă magnetică (IRM) a apărut prin anii 1990 şi se bazează pe faptul că atomii de hidrogen din corpurile vii reemit energia acumulată prin inducţia unui câmp magnetic puternic cu frecvenţă vibratorie, energia reemisă putând fi detectată şi monitorizată (fig. 3.82). Inducţia magnetică de 0,5…4 T se obţine cu ajutorul unui magnet supraconductor răcit la 80 K (–193 ^{0}C), cu ajutorul azotului lichid. Un electromagnet obişnuit ar avea nevoie de o putere de sute de kilowaţi pentru a produce inducţia magnetică necesară. Supraconductibilitatea se utilizează atât pentru inducerea câmpului magnetic, cât şi pentru detectarea undelor electromagnetice emise de organele interne ale corpului uman.



Fig. 3.82. Imagerie prin rezonanţă magnetică.

Rezonanţa magnetică nucleară (RMN) se bazează pe un principiu asemănător. Ea necesită două câmpuri magnetice perpendiculare, unul de înaltă frecvenţă, celălalt continuu, sub efectul cărora atomii de hidrogen din corpurile vii emit semnale care pot fi detectate. Intensitatea câmpului magnetic trebuie să fie de 7…13 T, putându-se obţine numai cu magneţi supraconductori.

b) – Stocarea energiei electrice se face într-o bobină supraconductoare de dimensiuni mari, răcită cu heliu lichid (fig. 3.83). Sistemul cuprinde bobina supraconductoare, echipamentul de comutare şi instalaţia de asigurare a temperaturii scăzute, fiind cunoscut sub denumirea de *procedeul SMES* (*S*upraconductor *M*agnetic *E*nergy *S*torage). El se poate utiliza pe lângă toate instalaţiile de producere a energiei electrice (eoliene, nucleare, termocentrale, hidrocentrale), înmagazinând energia, atunci când ea nu este consumată, sub formă de energie magnetică, şi cedând-o atunci când este nevoie de ea.

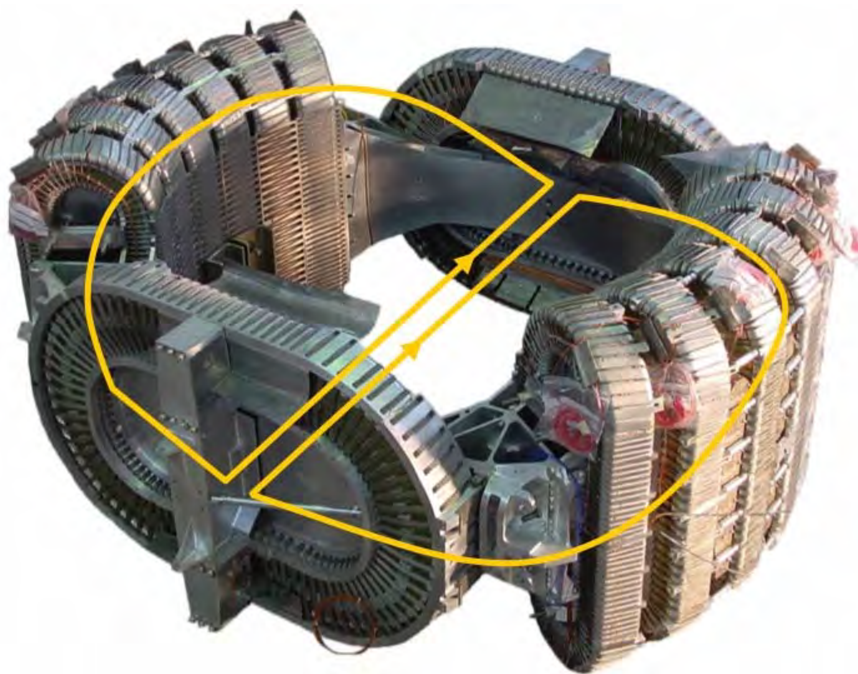


Fig. 3.83. Bobină supraconductoare pentru stocarea energiei.

c) – Trenul cu levitație magnetică (***trenul Maglev*** – după denumirea în limba engleză, ***Mag***netic ***Lev***itation) este un tren care utilizează câmpuri magnetice foarte puternice pentru a-şi asigura sustentația şi a avansa. Spre deosebire de trenurile clasice, nu există contact cu şinele, ceea ce reduce forțele de frecare şi permite atingerea unor viteze foarte mari (recordul mondial este de 581 km/h, fiind stabilit în 2003, în Japonia). În lume, există mai multe trenuri maglev, în fig. 3.84 fiind prezentat transrapidul din Shanghai, dat în folosință cu ocazia Expoziției Universale din 2010.

Principiul de funcționare a trenului cu levitație magnetică este simplu, bazându-se pe efectul Meissner (fig. 3.85) Câmpul magnetic generat de magneții montați în tren este respins de bobinele supraconductoare (bobinele de levitație), situate pe grinzile laterale, astfel că trenul este suspendat la circa 10 cm față de sol. În acelaşi timp, bobinele de propulsie, situate de asemenea pe grinzile laterale, asigură deplasarea trenului, având polaritatea schimbată față de cea a bobinelor de levitație. Bobinele de propulsie sunt tot bobine supraconductoare.

Avantajele acestui tren față de unul clasic (viteză mare, nu există frecare cu şinele, nu produce zgomot, se poate deplasa pe platforme suspendate la 10…20 m față de sol, nu poluează mediul şi nu este influențat de condițiile atmosferice) sunt limitate de următoarele dezavantaje: are nevoie de o platformă specială de rulare; costuri ridicate cu răcirea bobinelor supraconductoare de pe traseu; influența nefastă a câmpurilor magnetice asupra pasagerilor, precum şi a laptopurilor, telefoanelor mobile şi cardurilor.



Fig. 3.84. Transrapidul chinezesc din Shanghai (China).

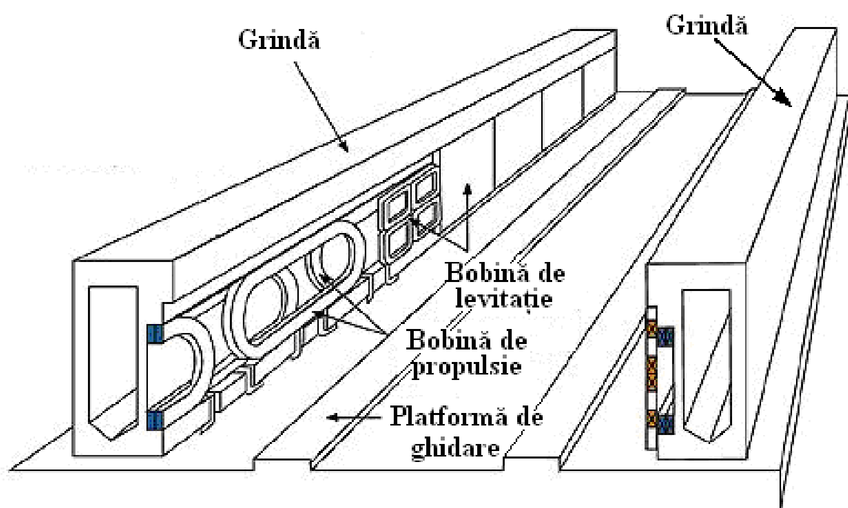


Fig. 3.85. Principiul de funcţionare a trenului cu levitaţie magnetică.

d) – Cablurile supraconductoare (fig. 3.86) constituie una din cele mai promiţătoare aplicaţii pentru viitor, având în vedere pierderile minime în transportul energiei electrice. Deocamdată, această aplicaţie este în fază de cercetare, datorită dificultăţii şi costurilor ridicate legate de răcirea forţată cu azot lichid a unui astfel de cablu. Ca urmare a rezistenţei electrice foarte reduse, un cablu supraconductor poate transmite o putere de circa 70 de ori mai mare decât unul similar din cupru. În acelaşi timp, pe lângă costul foarte ridicat (circa 200 $/kA·m),

cablurile supraconductoare nu sunt suficient de flexibile pentru a fi înfăşurate pe tamburi şi necesită o stație de lichefiere a azotului.

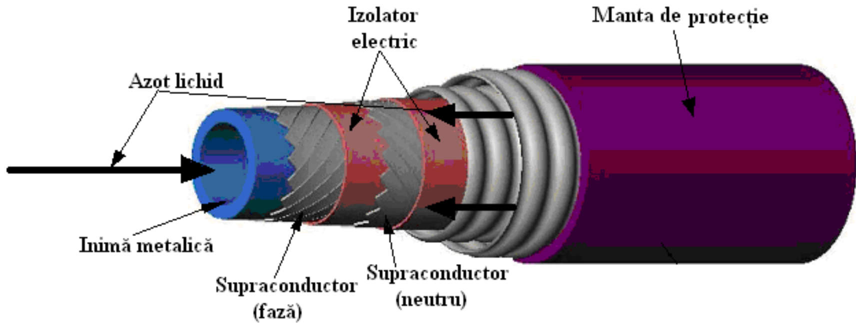


Fig. 3.86. Cablu supraconductor.

Pentru aplicațiile în curent alternativ, cablurile supraconductoare sunt realizate din compuşi de genul $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$ sau $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$, prin tehnologia numită *POWDER in Tube* (PIT). Pentru lungimi mici, aceste cabluri intră în construcția transformatoarelor, motoarelor şi electromagneților, îmbunătățindu-le considerabil randamentul.

e) – Generatoarele şi motoarele electrice cu bobinaje supraconductoare sunt o aplicație importantă a supraconductibilității. Un generator electric cu bobinaj supraconductor are un randament foarte ridicat, de circa 99%, față de unul clasic, cu un randament de circa 50%. Ba mai mult, greutatea sa este pe jumătate din cea a unui generator convențional. Circuitele magnetice clasice au două neajunsuri principale: inducția magnetică este limitată la 2 T şi au mase nominale foarte mari. Aceste neajunsuri sunt înlăturate prin bobinare cu cabluri supraconductoare care, însă, cresc considerabil prețul maşinilor electrice.

f) – Propulsia magnetohidrodinamică. Magnetohidrodinamica (MHD) este o ramură a fizicii care se ocupă cu studiul fluidelor electroconductoare (plasmă, metale topite) în interacțiune cu un câmp magnetic. Termenul a fost introdus în 1942 de către fizicianul suedez Hannes Alfvén (1908-1995) care a primit Premiul Nobel pentru fizică, în 1970, pentru dezvoltarea acestei teorii.

Pornind de la această teorie, inginerii japonezi au construit o navă maritimă fără elice, cu propulsie magnetohidrodinamică, simbolizată YAMATO – 1 (fig. 3.87), al cărui principiu de funcționare se poate aplica şi submarinelor. Fenomenul se bazează pe apariția unei forțe Lorentz, ca urmare a interacțiunii dintre un câmp electric constant şi un câmp magnetic, cele două câmpuri fiind perpendiculare între ele. În cazul nostru, câmpul electric este transmis prin apa de mare (conducătoare de electricitate) unor bobine supraconductoare încorporate în navă. Câmpul electric este creat între doi electrozi scufundați în apă.

Propulsia magnetohidrodinamică pentru deplasarea navelor maritime este deocamdată mai scumpă decât propulsia clasică, dar, ca şi în cazul trenurilor cu levitație magnetică, se fac cercetări pentru perfecționarea ei.



Fig. 3.87. Navă cu propulsie MHD.

g) – Tokamakul (fig. 3.88) este o instalaţie complexă pentru producerea unei reacţii termonucleare controlate, numită fuziune nucleară. Acesta este o reacţie nucleară de sinteză a unui nucleu greu, mai stabil, din două nuclee uşoare, însoţită de degajarea unei energii egale cu diferenţa dintre energia de legătură a nucleului rezultat şi cea a nucleelor uşoare. Această reacţie are loc în Soare şi în alte stele.

În tokamakuri, atomii uşori ai unor gaze se combină, formând atomi grei, cu eliberarea unei cantităţi uriaşe de energie. Pentru aceasta, gazele trebuie încălzite la circa 100 de milioane de grade, fără să atingă pereţii reactorului. Acest lucru se poate realiza cu ajutorul unui câmp magnetic foarte puternic, de ordinul a zeci de tesla, produs de magneţi supraconductori toroidali.

h) – Circuitele imprimate. Obstacolul principal în producerea circuitelor imprimate din ce în ce mai mici îl constituie încălzirea acestora, prin efect Joule-Lenz. Prin utilizarea materialelor supraconductoare, s-ar înlătura complet acest neajuns, dar se pune problema răcirii lor, ceea ce creează alt neajuns. Un calculator cu circuite imprimate din materiale supraconductoare ar fi de cinci ori mai puternic decât unul clasic, având şi un consum de energie mult mai mic.

i) – Bomba electromagnetică (fig. 3.89) este testată în mare secret de armatele americană şi rusă. Ea dezvoltă un câmp electromagnetic foarte puternic care poate scoate ireversibil din funcţiune o gamă largă de echipamente electrice şi electronice (calculatoare, radare, receptoare radio, emiţătoare, reţele electrice şi de transmisiuni). Sursa de energie a acestei bombe o constituie un exploziv plastic care, prin intermediul unui generator de comprimare a fluxului (fig. 3.89) şi al unui generator magnetohidrodinamic, produce o tensiune de circa 100 kV. Tensiunea este apoi transformată în microunde de către un dispozitiv numit vircator, iar microundele sunt transmise de o antenă specială. Tehnologia a fost inventată în mod independent de către savanţii A.D. Saharov (1921-1989), în URSS, şi C.M.

Fowler (1918-2006), în SUA, fiind apoi perfecționată de ambele țări.

Fig. 3.88. Tokamak.

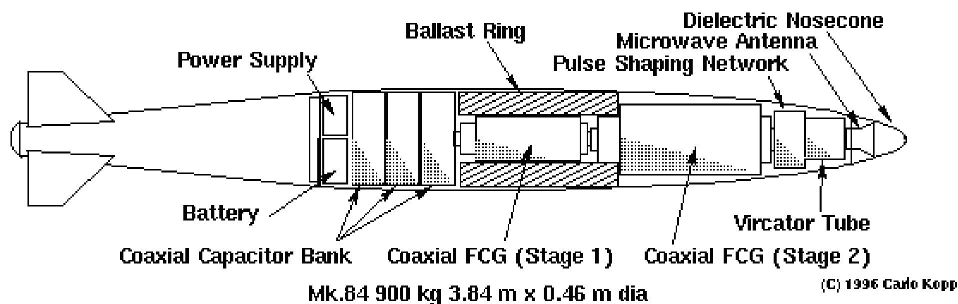


Fig.3.89. Bomba electromagnetică.
[Sursa: http://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/hpm.htm]

Bombele electromagnetice vor fi lansate din avioane, iar ca ţinte favorite sunt vizate edificiile guvernamentale, bazele militare, nodurile de comunicaţii, radarele şi obiectivele militare. După identificarea ţintelor, bombele sunt lansate şi ghidate prin GPS, fiind programate să explodeze într-o poziţie optimală, care să producă maximum de pierderi inamicului[8].

3.6.5. Materiale inteligente

3.6.5.1. Generalităţi. Materialele nu pot fi inteligente, inteligenţa fiind proprie organismelor vii, şi îndeosebi oamenilor, ea constituind capacitatea acestora de a înţelege uşor şi bine, de a sesiza ceea ce este esenţial. Materialele zise *inteligente* ar trebui denumite *materiale adaptive*, dar întrucât în toate limbile moderne s-a încetăţenit sintagma de *materiale inteligente*, vom folosi şi noi această denumire. Aşadar, materialele inteligente sunt sensibile, evolutive şi capabile să se adapteze mediului înconjurător, având funcţiuni de detectare a semnalelor, de stocare a lor şi de acţionare asupra unui sistem. Ele sunt capabile să-şi modifice spontan unele proprietăţi fizice (forma, culoarea, vâscoelasticitatea), ca răspuns la factorii naturali care acţionează asupra lor, cum ar fi temperatura, forţele exterioare sau câmpurile electrice şi magnetice. Funcţia de percepţie se bazează cel mai adesea pe echilibrul dinamic dintre materialul respectiv şi mediul înconjurător. Schimbările mediului înconjurător atrag schimbarea stării de echilibru, în care materialul respectiv va avea alte proprietăţi.

O caracteristică importantă a materialelor inteligente o constituie faptul că la o mică modificare a mediului, proprietăţile lor se modifică accentuat, adică mărimea răspunsului nu este proporţională, ci mult mai mare decât factorul perturbator. Altă caracteristică importantă este reversibilitatea, adică proprietatea ca după încetarea acţiunii care a produs modificarea să se restabilească starea iniţială.

Materialele inteligente au apărut la începutul anilor 80 ai secolului trecut, în SUA, în domeniul aerospaţial, dezvoltându-se apoi cu repeziciune, odată cu progresul comunicaţiilor, chimiei, biologiei, electronicii, roboticii şi sectorului militar. După aspectul lor, ele pot fi dure sau moi.

3.6.5.2. Materialele inteligente dure rezistă în limite largi la compresiune, forfecare şi alte solicitări mecanice. Din această categorie fac parte aliajele şi materialele nemetalice cu memoria formei, precum şi materialele piezoelectrice, electrostrictive şi magnetostrictive.

a) – Aliajele cu memoria formei sunt materiale metalice care pot memora o anumită formă impusă, iar după ce sunt supuse unor deformări mecanice, pot reveni la forma iniţială sub acţiunea căldurii. Altfel spus, după ce au fost deformate la frig, aceste materiale revin la forma iniţială, peste o anumită temperatură, ca urmare a unei schimbări de fază. Efectul memoriei formei se datorează fenomenului de transformare termoelastică martensitică (transformare reversibilă

[8] Pentru mai multe informaţii http://wwwabovetopsecret.com//forum/thread 5955 (pgs.1-81)

prin modificarea structurii cristaline în funcție de temperatură). Istoric, noțiunea de *transformare martensitică* este asociată cu transformarea austenitei în martensită (descoperită de metalurgul german A. Martens în 1879). Prin extensie, acest termen este generalizat pentru un număr mare de aliaje ale căror transformări sunt asemănătoare cu transformarea martensitică a oțelurilor. Aceste aliaje sunt fabricate pe bază de nichel şi titan, cu adaosuri de cupru, fier, crom şi aluminiu.

Cel mai cunoscut aliaj cu memoria formei este aliajul numit *nitinol* al cărui nume provine de la *Ni*ckel-*Ti*tane *N*aval *O*rdnance *L*aboratory (actualmente Naval Surface Warfare Center) – locul unde a fost descoperit. El este un material cu proprietăți remarcabile legate de efectul de memorare a formei, cum ar fi capacitatea de înmagazinare a energiei elastice (42 MJ/m^3) sau deformațiile maxime care pot fi recuperate în cadrul memoriei mecanice (10%) sau termice (8%). De asemenea, are un preț acceptabil, este fiabil şi compatibil cu țesuturile vii. S-a calculat că o cantitate de 50 litri de nitinol poate înmagazina tot atâta energie cât produce un motor cu ardere internă. În fig. 3.90.a este prezentat efectul memoriei formei pentru un aliaj nitinol, într-un sistem de coordonate temperatură-efort-deformație, iar în fig. 3.90.b, exemplificarea acestui efect pentru un arc elicoidal.

Aliajele cu memoria formei se obțin prin topire cu arc electric în vid sau în cuptoare cu inducție, pentru a avea cât mai puține impurități, după care se toarnă în lingouri. Urmează apoi câteva etape de laminare a lingourilor şi, în final, o trefilare pentru obținerea unui produs sub formă de sârmă. Ele trebuie să aibă următoarele proprietăți: o elasticitate care să le permită o deformare reversibilă foarte mare, de până la 10 %; efectul simplu de memoria formei care reprezintă redobândirea unică şi spontană a formei inițiale a aliajului, prin încălzire, după o deformație mecanică; efectul de memoria formei în dublu sens care reprezintă redobândirea spontană atât a formei calde, cât şi a celei reci, la încălzire şi la răcire; efectul de memorie a arestului termic care constă în „amintirea” temperaturii de întrerupere a transformării din ciclul termic precedent.

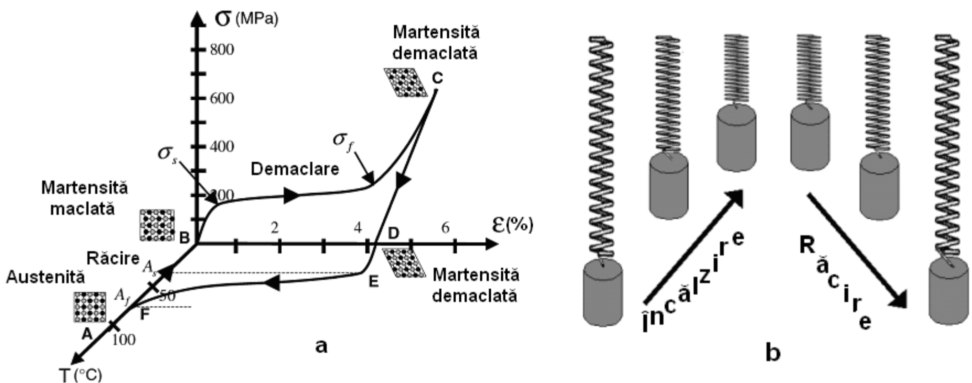


Fig. 3.90. Efectul memoriei formei asupra unui aliaj nitinol.

Aplicațiile aliajelor cu memoria formei sunt numeroase, în fig. 3.91 fiind prezentate domeniile de utilizare a acestora, iar în fig. 3.92, câteva exemple prac-

tice: *a* – nit de asamblare folosit în cazul în care suprafaţa de căpuire este inaccesibilă; *b* – asamblarea conductelor de titan, care nu se pot suda, utilizate în aviaţie; *c* – valvă pentru închiderea conductelor de gaze la apariţia unui incendiu; *d* – agrafe alungite în prealabil prin răcire pentru consolidarea fracturilor osoase care, la temperatura corpului uman se contractă, facilitând vindecarea; *e* – stent endovascular spiral pentru dilatarea arterelor coronare (*1* – cateter pentru introducerea stentului răcit; *2* – stent cu memoria formei care se dilată la temperatura corpului; *3* – arteră coronară dilatată); *f* – lingura magică (un truc folosit de iluzionişti: lingura răcită în prealabil are o formă normală, iar la contactul cu mâinile scamatorului se îndoaie, revenind la forma iniţială).

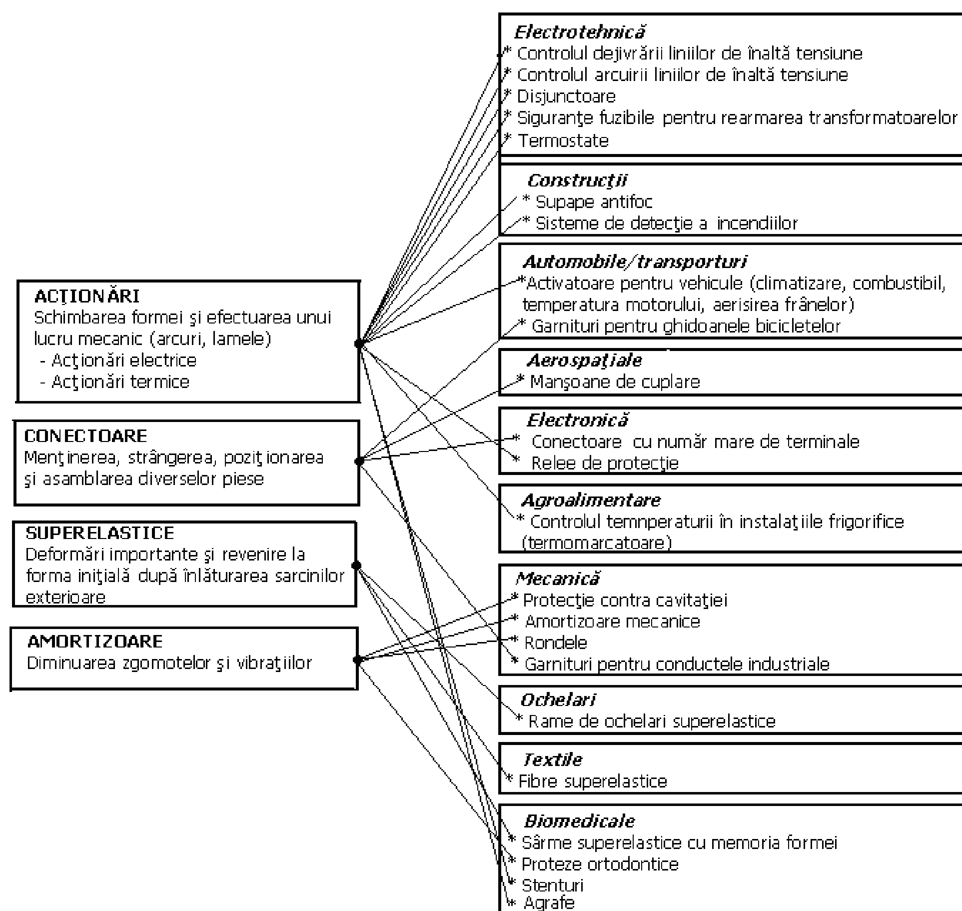


Fig. 3.91. Domenii de utilizare a aliajelor cu memoria formei.

b) – Materialele nemetalice cu memoria formei cuprind materiale ceramice, plastice şi compozite.

Ceramicele cu memoria formei cuprind materiale vâscoelastice, martensitice şi feroelastice. Din prima categorie face parte un material ce conţine 40…60% mică, având formula chimică $X_2Y_{4\text{-}6}Z_8O_{20}(OH,F)_4$ în care X=K,Na,Ca;

Y= Al,Mg,Fe; Z=Si,Al,Fe^{3+},Ti^{4+} . Prin încălzire la peste 300 ^{0}C, mica se poate deforma plastic, iar prin răcire la temperatura ambiantă, materialul îşi recapătă forma inițială. Deformarea maximă nu poate depăşi 0,5 %.

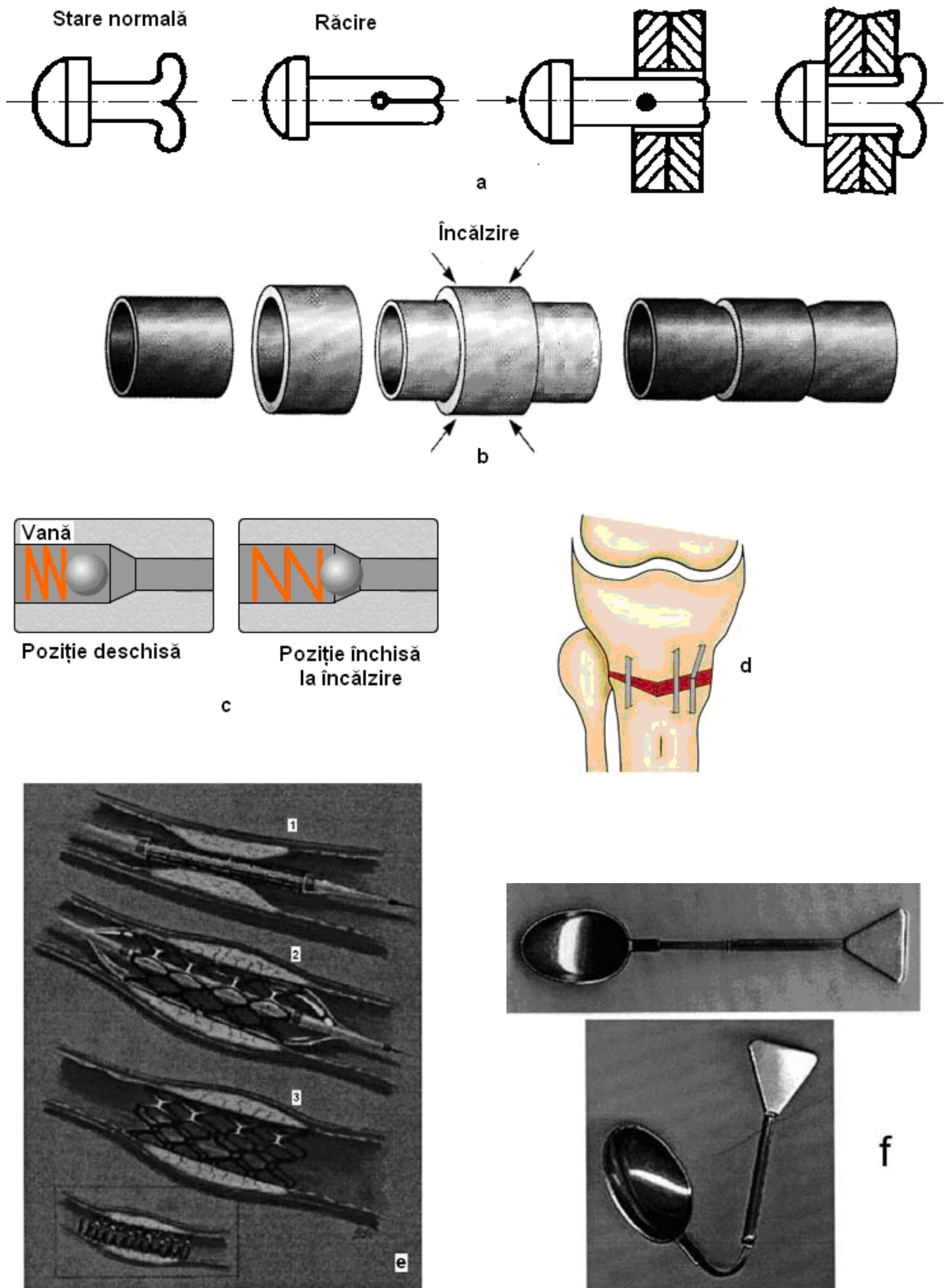


Fig.3.92. Aplicațiile aliajelor cu memoria formei.

Ceramica martensitică este reprezentată de bioxidul de zirconiu (ZrO_2) stabilizat cu oxid de ytriu (Y_2O_3) sau bioxid de ceriu (CeO_2) care prezintă trei stări alotropice: cubică, tetragonală şi monoclinică. Transformarea tetragonal-monoclinică are loc între 1150 ^{0}C şi 880 ^{0}C , fiind asemănătoare cu transformarea martensitică a aliajelor metalice şi realizând o deformare de circa 2%.

Ceramica feroelastică este reprezentată de perovskite ($BaTiO_3$, $SrTiO_3$, $CaTiO_3$) şi va fi tratată la materialele piezoelectrice.

Ceramicele cu memoria formei au o viteză de reacţie foarte mare şi un consum redus de energie, dar şi o deformare mult mai mică decât a aliajelor metalice, precum şi o fragilitate ridicată şi un proces laborios de fabricare.

Polimerii cu memoria formei au următoarele avantaje: sunt uşori, supli, insensibili la acţiunea câmpurilor magnetice, au consumuri scăzute de energie şi nu sunt fragili. În acelaşi timp, nu se pot folosi la temperaturi mai mari de 120 ^{0}C şi au viteze de reacţie mai mici. Ei au proprietatea de a reveni dintr-o stare deformată (temporară), indusă de o încălzire sau un alt stimul exterior (motor electric, câmp magnetic, lumină), la starea iniţială (permanentă). Din această categorie fac parte polimerii termoplastici, elastomerii, şi polimerii ionici.

Polimerii cu memoria formei au atât aplicaţii industriale, cât şi aplicaţii medicale. Astfel, poliolefina bombardată cu electroni de mare energie şi încălzită la 120 ^{0}C se strânge, asigurând izolarea unui mănunchi de conductoare electrice sau cuplarea a două conducte metalice care nu se pot suda şi nu se mai înmoaie la reîncălzire. De asemenea, din astfel de polimeri se pot confecţiona fire pentru suturi chirurgicale (fig.3.93) care se transformă succesiv din forma iniţială *1* în forma finală cu nod *6* , în circa 20 de secunde, prin încălzire la 41 ^{0}C. Se realizează astfel o cusătură a plăgilor cu autoreglarea strângerii optime a nodurilor, înlăturându-se posibilitatea unor strângeri prea mari, care să producă necrozarea ţesuturilor. În plus, după vindecarea rănii, firele de sutură se resorb, fără nici un pericol pentru corpul uman. Tot ca aplicaţie medicală se menţionează stenturile cardiovasculare care le înlocuiesc pe cele din nitinol (fig.3.92. e), având dimensiuni mai mici şi putând fi introduse mai uşor cu cateterul, prin vene sau artere.

Compozitele cu memoria formei se obţin prin laminarea într-o matrice polimerică a unor benzi, lamele sau sârme metalice cu memoria formei. Structurile obţinute pot fi pliate, rulate sau împachetate în orice mod (fig. 3.94). Revenirea la forma iniţială se realizează, în general, cu ajutorul căldurii, fără ca materialul compozit să-şi piardă performanţele. O astfel de structură prezintă următoarele avantaje: rezistenţă mare în raport cu greutatea; reducerea gabaritului prin împachetare; rezistenţă la oboseală şi rezilienţă ridicate.

În fig.3.95 se prezintă exemplul plierii şi deplierii unei ţevi din material compozit cu memoria formei: *a* – ţeavă; *b* – pliere prin presare; *c* – ţeavă pliată; *d* – revenirea ţevii la forma iniţială sub acţiunea căldurii. Aplicaţiile includ structuri uşoare şi rigide, care constituie o alternativă avantajoasă la structurile gonflabile utilizate până acum.

c) – Materialele piezoelectrice. Piezoelectricitatea este proprietatea unor materiale izolatoare de a se polariza electric sub acţiunea unor forţe exterioare sau

Fig. 3.93. Fir chirurgical din polimer cu memoria formei.

de a se deforma când li se aplică un câmp electric. În primul caz avem un efect piezoelectric direct, iar în al doilea, un efect piezoelectric indirect (fig. 3.96): *a* – cristal polarizat în stare inițială; *b* – generarea curentului electric prin comprimare (efect piezoelectric direct); *c* – dilatare la aplicarea curentului electric (efect piezoelectric invers). Piezoelectricitatea apare numai în anumite materiale izolatoare şi se manifestă prin apariția unor sarcini electrice pe suprafețele monocristalelelor deformate mecanic. Într-un cristal piezoelectric, sarcinile electrice pozitive şi negative sunt separate simetric, astfel că sarcina electrică totală a cristalului este neutră. Dacă asupra cristalului acționează o sarcină mecanică exterioară, simetria sarcinilor electrice este perturbată, generând un impuls electric. De exemplu, dacă asupra unui cristal de cuarț de 1 cm^3 acționează o forță de 2 kN, se produce o tensiune de 12.500 V.

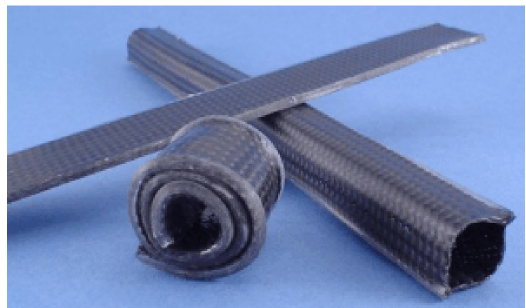


Fig. 3.94. Material compozit cu memoria formei.

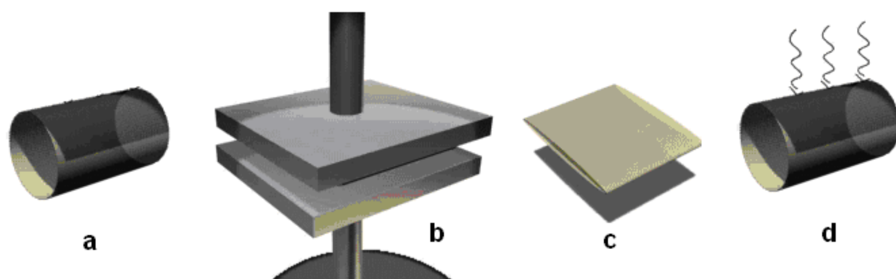


Fig. 3.95. Plierea şi deplierea unei ţevi compozite cu memoria formei.

În acelaşi timp, dacă asupra cristalului piezoelectric se aplică un câmp electric exterior, cristalul se va deforma mecanic. Din cele 32 de clase de cristale existente numai 20 prezintă efect piezoelectric, iar dintre acestea numai 10 sunt polare, adică au o polarizare electrică spontană.

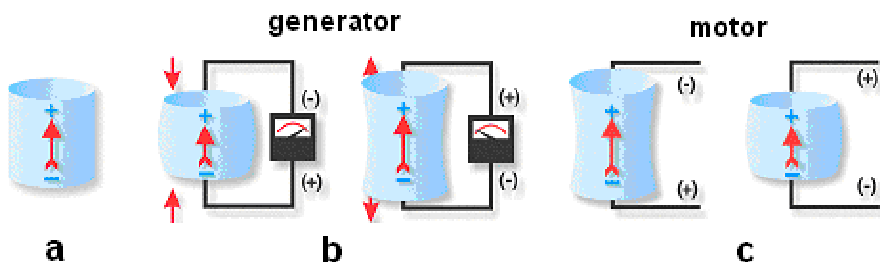


Fig. 3.96. Efectul piezoelectric.

Fenomenul piezoelectric direct a fost descoperit de fraţii Pierre şi Jacques Curie, în 1880, tineri preparatori la Facultatea de Ştiinţe din Paris, iar efectul piezoeletric invers, de către Gabriel Lippman, profesor de fizică la Sorbona, în 1881. Fenomenul a rămas o curiozitate de laborator până în 1917, când Paul Longevin, profesor de fizică la Collège de France, a inventat un detector ultrasonic pentru submarine, alcătuit din cristale de cuarţ lipite între două plăci de oţel şi un hidrofon pentru detectarea ecoului.

Varietatea materialelor naturale sau de sinteză care prezintă efect piezoelectric este mare. Ele se pot clasifica în familii, după compoziţia chimică, structura cristalografică sau importanţa lor ştiinţifică şi industrială.

Oxizii feroelectrici (*perovskitele*) au valori ridicate ale constantei dielectrice, cei mai cunoscuţi fiind titanaţii ($BaTiO_3$, $PbTiO_3$, $SrTiO_3$), precum şi unele soluţii solide [$(PbSr)TiO_3$, $Pb(Zr_{0,5}Ti_{0,5})O_3$]. Tot din această familie fac parte niobatul de litiu ($LiNbO_3$), tantalatul de litiu ($LiTaO_3$) şi unele materiale mai complexe ($Ba_2NaNb_5O_5$, $Pb_2KNb_5O_{15}$, $La_3Ga_5SiO_{14}$).

Cuarţul (SiO_2) este cel mai important material piezoelectric. Din aceeaşi

familie mai fac parte unii fosfați şi arseniați ($GaPO_4$, $AlPO_4$, $GaAsO_4$). Spre deosebire de familia precedentă, aceşti compuşi nu sunt feroelectrici, au coeficienți piezoelectrici mai mici, dar şi proprietăți mecanice mai bune şi o bună stabilitate termică.

Semiconductoarele din grupele III-V cu structură zinc-blendă şi II-VI cu structură wurtzitică (sulfură naturală de zinc) au proprietăți piezoelectrice. Dintre acestea amintim nitrura de aluminiu (AlN) şi oxidul de zinc (ZnO).

Polimerii au proprietăți piezoelectrice modeste şi pierderi dielectrice mari, dar şi unele avantaje: impedanță acustică şi permitivitate dielectrică scăzute, conductibilitate termică mică, flexibilitate mare şi cost redus. Ei pot fi de origine biologică (celuloză, colagen) sau de sinteză (fluorură de poliviniliden).

Materialele piezocompozite sunt alcătuite dintr-o osatură ceramică activă şi o matrice polimerică pasivă. Osatura ceramică poate fi sub formă de particule, fibre uniaxiale sau plăci.

În tabelul 3.15 se prezintă proprietățile piezoelectrice ale câtorva materiale reprezentative.

Tabelul 3.15. **Proprietățile materialelor piezoelectrice**

Nr. crt.	**Materialul**	**Formula chimică**	**Temperatura Curie T_c [^{0}C]**	**Polarizarea P [C/cm^2]**	**Coeficientul de cuplare piezoelectrică d_{33} [x10^{-12}C/N]**	**Coeficientul de tensiune g_{33} [x10^{-16}C/N]**	**Constanta dielectrică K**
1	Cuarț	SiO_2	573		–2,3	–57,5	4
2	Titanat de bariu	$BaTiO_3$	130	26	191	11,4	2000
3	Titanat-zirconat de plumb	$PbZr_{0,5}Ti_{0,5}O_3$	386		233	39,5	1500
4	Titanat-zirconat de plumb şi lantan	$Pb_{0,88}Zr_{0,35}Ti_{0,65}La_{0,08}O_3$	65	47	682	20	3400
5	Niobat de plumb	$PbNb_2O_6$	560		85	42	250
6	Fluorură de poliviniliden	$(CH_2\text{-}CF_2)_n$	41		30	200	15

Aplicațiile materialelor piezoelectrice sunt numeroase. Efectul piezoelectric direct (generarea curentului electric prin comprimare) are următoarele aplicații practice:

♦ *Transductoarele acustice* transformă undele sonore în semnale electrice şi invers: microfoane, telefoane mobile, sonare, ecografe medicale.

♦ *Generatoarele piezoelectrice* produc scântei prin comprimarea mate-

rialului piezoelectric: brichete, aprinzătoare de gaz, bascheţi care emit semnale luminoase, telecomenzi pentru televizoare fără baterii şi sonerii de apartament fără alimentare electrică.

♦ *Transformatoarele piezoelectrice* utilizează ambele efecte ale materi-alelor piezoelectrice. Prin efect piezoelectric invers, un curent de excitaţie generează sarcini mecanice asupra unei bare din titanat-zirconat de plumb, făcând-o să vibreze cu o frecvenţă aleasă, care să corespundă frecvenţei de rezonanţă. Prin efect piezoelectric direct, electrozii aflaţi la capetele barei generează o tensiune care poate fi amplificată prin rezonanţă de circa o mie de ori.

Ca aplicaţii ale efectului piezoelectric invers (dilatarea materialului la aplicarea unui curent electric) se menţionează:

♦ *Rezonatoarele piezoelectrice* sunt foarte stabile în timp şi au frecvenţe foarte precise, factorul lor de calitate având valori mari ($Q = 10^4 \ldots 10^6$): ceasuri cu cuarţ şi microbalanţe cu cuarţ care măsoară mase foarte mici cu o precizie ridicată.

♦ *Captoarele de presiune şi acceleraţie* se folosesc pentru măsurarea presiunii în conductele hidraulice ale avioanelor sau a aerului în pneurile automobilelor, precum şi la fabricarea unor instrumente muzicale (baterii electronice). Pe acelaşi principiu se pot măsura şi acceleraţiile (accelerometre cu lamă vibrantă, girometre vibrante Coriolis) sau se construiesc airbagurile pentru protecţia pasagerilor din automobile la şocuri.

♦ *Acţionările şi motoarele piezoelectrice* se bazează pe câmpul electric generat prin comprimarea unui material piezoelectric, cu care se comandă o mişcare rotativă sau liniară. Acţionările piezoelectrice asigură curse directe de până la 100 μm, sau de 0,1…1 mm, în cazul folosirii unor amplificatoare mecanice (microscoape cu efect de tunel, comanda injectoarelor motoarelor Diesel, optică adaptivă în astronomie, controlul vibraţiilor).

Motoarele piezoelectrice au viteză redusă şi cuplu mare şi ca atare nu necesită reductoare şi nu fac zgomot. Ele se utilizează la focalizarea obiectivelor aparatelor de fotografiat şi filmat şi la mecanismele geamurilor electrice ale automobilelor.

În tabelul 3.16 se prezintă o comparaţie între acţionările pizoelectrice şi alte tipuri de acţionări.

d) – Materiale electrostrictive. Electrostricţiunea este proprietatea unor materiale dielectrice de a-şi modifica forma sub acţiunea unui câmp electric variabil. Ea se datorează sarcinilor electrice repartizate aleatoriu în interiorul materialului care, sub acţiunea unui câmp electric, se vor polariza pe suprafeţele opuse ale materialului şi fiind de sensuri opuse se vor atrage reciproc şi vor produce deformarea materialului. Diferenţa dintre materialele electrostrictive şi cele piezoelectrice este că la primele nu avem centre de greutate diferite pentru cele două tipuri de sarcini electrice.

Toate materialele dielectrice au proprietăţi electrostrictive, dar acestea sunt prea slabe pentru aplicaţii practice. Dintre acestea, câteva ceramice prezintă o electrostricţiune mai ridicată, acestea fiind $Pb\ (Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ şi $Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_{3-x}\cdot PbTiO_3$. Ca aplicaţii practice ale acestora se menţionează

oglinzile deformabile întâlnite la telescoapele spaţiale şi laserele de puteri mari, *dispozitivele de poziționare mecanică fină* folosite în robotică şi microscopie optică şi *motoarele ultrasonore* utilizate la focalizarea automată a camerelor video.

Tabelul 3.16. **Comparaţie între acţionările piezoelectrice şi alte tipuri de acţionări**

Sursa de energie	**Felul acționării**	**Gama de deplasare**	**Precizia deplasării**	**Forța produsă**	**Viteza de răspuns**
Aer comprimat	Motor pneumatic	Rotaţie		5 kgm	10 s
	Cilindru pneumatic	100 mm	100μm	10^{-2} kg/mm^2	10 s
Ulei	Motor hidraulic	Rotaţie		10 kgm	1 s
	Cilindru hidraulic	1000 mm	10μm	10 kg/mm^2	1 s
Energie electrică	Motor de curent alternativ	Rotaţie		3 kgm	10 ms
	Motor de curent continuu	Rotaţie		20 kgm	10 ms
	Motor pas cu pas	1000 mm	10μm	30 kg	100 ms
	Bobină + membrană	1 mm	0,1μm	30 kg	1 ms
	Acționare piezoelectrică	**0,1 mm**	**0,01μm**	**3 kg/mm^2**	**0,1 ms**

e) – Materiale magnetostrictive. Magnetostricţiunea este proprietatea unor materiale feromagnetice de a se deforma sub acţiunea unui câmp magnetic. Fenomenul a fost descoperit în 1842 de fizicianul britanic J.P. Joule (1818-1899) care a constatat alungirea unei bare de nichel aflate într-un câmp magnetic (efect Joule sau efect magnetostrictiv direct). Fenomenul este reversibil, adică dacă un astfel de material este alungit, el se magnetizează (efect Villari sau efect magnetostrictiv invers). Fizicianul italian Emilio Villari (1836-1904) a descoperit acest efect în 1865. Dacă un material este magnetizat până la saturaţie, deformaţia maximă produsă prin magnetostricţiune este, în general, de 1 μm pentru 1 cm de material. Astfel fierul are o deformaţie relativă de numai 0,2 μm/cm, în timp ce aliajele fierului cu terbiul şi disprosiul ($TbFe_2$, $DyFe_2$) au deformaţii relative foarte mari, de circa 16 μm/cm, într-un câmp magnetic de 1 MA/m. Tot din această categorie mai fac parte aliajele fier-cobalt şi fier-cobalt-nichel, însă cel mai performant material magnetostrictiv este *terfenolul-D* ($Tb_{0,3}Dy_{0,7}Fe_{1,9}$), a cărui denumire provine de la *Ter*bium *Fe* *N*aval *O*rdnance *L*aboratory *D*ysprosium (Laboratorul din SUA unde a fost descoperit şi nitinolul).

Magnetostricţiunea produce zgomotul specific transformatoarelor sau apa-

ratelor electrice de înaltă tensiune, zgomotul având o frecvenţă dublă faţă de cea a curentului electric (100 Hz faţă de 50 Hz), la care se mai adaugă şi armonicile.

Primele aplicaţii ale materialelor magnetostrictive au fost receptoarele telefonice, sonarele pentru detectarea submarinelor şi traductoarelor de cupru. Astăzi , gama acestora cuprinde:

- *Motorul liniar peristaltic* este alcătuit dintr-o bobină electromagnetică înfăşurată pe un tub în care se introduce forţat (cu strângere) o bară de terfenol, întreaga construcţie fiind încorporată într-o armătură inelară. La activarea bobinei, bara magentostrictivă de terfenol va efectua o mişcare de dilatare-comprimare. Motorul se utilizează în aviaţie (aripi inteligente), în industria de automobile (sisteme de frânare) şi medicină (distribuirea controlată a fluidelor).
- *Transductorul magnetostrictiv* (fig.3.97) este format dintr-o bobină electromagnetică în interiorul căreia se află o bară magnetostrictivă, totul fiind protejat de un cilindru pentru închiderea circuitului magnetic. Pentru asigurarea deplasării bidirecţionale a barei metalice, aceasta este magnetizată static fie cu un magnet permanent, fie cu un curent continuu care circulă prin bobină, suprapunându-se peste curentul de excitaţie.

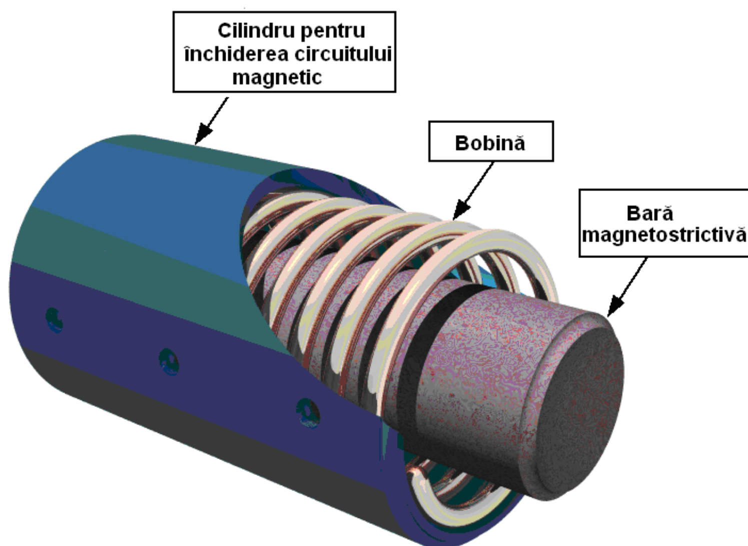


Fig. 3.97. Transductor magnetostrictiv.

Bara metalică este confecţionată din fier, nichel, aliaje aluminiu-fier (algenol) sau nichel-cobalt şi, mai ales, din terfenol, datorită performanţelor sale magnetostrictive.

Transductorul magnetostrictiv se utilizează pentru transformarea curenţilor de înaltă frecvenţă în ultrasunete, având şi alte aplicaţii: microoglinzi, micropompe şi micromotoare.

- *Alte aplicaţii*: senzori magnetostrictivi pentru detectarea intensităţii câmpurilor magnetice înconjurătoare; măsurarea forţelor şi momentelor de torsi-

une; controlul activ al zgomotelor şi vibraţiilor, prin utilizarea simultană a efectului invers pentru măsurarea nivelului acestora şi a efectului direct pentru aducerea lor la nivelul dorit.

3.6.5.3. Materialele inteligente moi cuprind fluidele electroreologice şi magnetoreologice, cristalele lichide şi muşchii artificiali.

a) – Fluidele electroreologice sunt suspensii de particule conducătoare într-un lichid dielectric. Mărimea particulelor este de 1…100 μm, cu o fracţie volumică (raportul dintre volumul particulelor şi volumul total) de 30…40%. Descoperite în 1947 de către fizicianul american W.M. Winslow, aceste fluide au proprietăţi foarte interesante atât din punct de vedere ştiinţific, cât şi din punct de vedere tehnologic. Sub acţiunea unui câmp electric, ele trec foarte rapid (< 10 ms) din stare lichidă în stare solidă. Transformarea este reversibilă, fiind suficientă înlăturarea câmpului electric. Explicaţia este foarte simplă (fig. 3.98): în lipsa câmpului electric particulele plutesc liber în lichid, datorită maselor foarte mici care nu sunt afectate de gravitaţie (fig. 3.98.a); sub acţiunea câmpului electric, particulele formează lanţuri paralele (fig. 3.98.b) care conduc la creşterea considerabilă a vâscozităţii lichidului, astfel că acesta nu mai curge, devenind pseudosolid. De obicei, suspensia este formată din pulberi de bariu şi titan şi ulei siliconic sau uree.

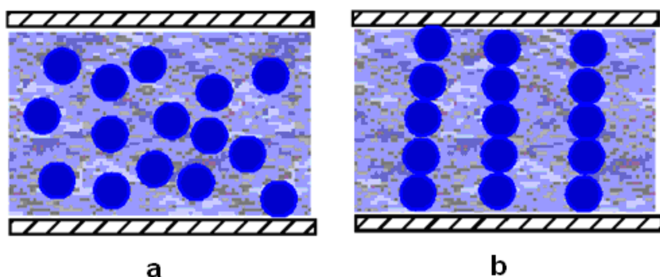


Fig.3.98. Fluid electroreologic.

Consistenţa fluidelor electroreologice se poate modifica în limite largi cu ajutorul câmpului electric, începând de la un lichid cu vâscozitate mică, până la starea de gel care se apropie de corpurile solide.

Ca aplicaţii ale fenomenului se menţionează industria de automobile (ambreiaje, amortizoare, controlul activ al vibraţiilor), supape pentru controlul debitului şi al pierderilor de presiune fără piese în mişcare, sisteme de transfer şi recuperare a căldurii (bazate pe modificarea conductibilităţii termice prin schimbarea vâscozităţii fluidului), servovalve hidraulice pentru robotică.

b) – Fluidele magnetoreologice sunt suspensii stabile de particule feromagnetice ultrafine într-un lichid dielectric care, la aplicarea unui câmp magnetic, îşi măresc brusc vâscozitatea, devenind solide. Particulele magnetice, cu dimensiuni de 0,05…1 μm, în circumstanţe normale, sunt repartizate aleatoriu în masa lichidului dielectric (fig. 3.99.a). Prin aplicarea unui câmp magnetic, particulele microscopice se aliniază după liniile câmpului, formând lanţuri care modifică proprietăţile reologice ale lichidului (elasticitate, plasticitate, vâscozitate),

precum şi alte proprietăți (magnetice, electrice, termice, acustice). Prin îndepărtarea câmpului magnetic, particulele revin la starea inițială dezordonată.

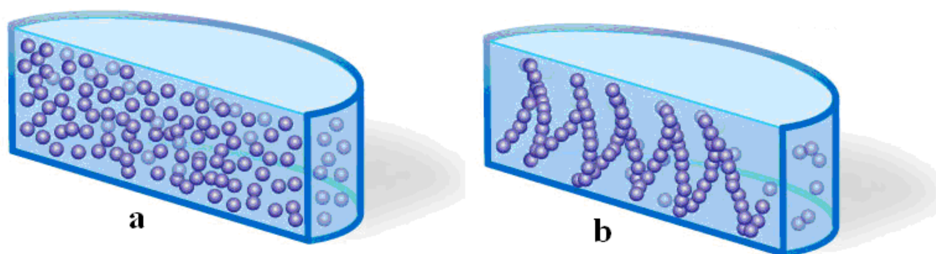


Fig.3.99. Fluid magnetoreologic.

Particulele feromagnetice ocupă 20…40% din volumul total al materialului, în mod curent utilizându-se carbonil de fier (FeCO) sau un aliaj fier-cobalt. Lichidul dielectric purtător trebuie să aibă o vâscozitate de 0,1…1 Pa·s, folosindu-se ulei siliconic, glicol sau kerosen. Pentru evitarea aglomerării sau depunerii gravitaționale a particulelor, fluidul conține şi substanțe tensioactive sau stabilizatori: acid oleic, acid citric, lecitină de soia sau hidroxid de tetrametil-amoniu.

Față de fluidele electroreologice, cele magnetoreologice au unele avantaje: înlăturarea efectelor produse de câmpul electric (reacții de degradare electrochimică, încălzire prin efect Joule-Lenz, ecranarea câmpului, tensiune de străpungere), performanțe mecanice mai bune şi rezistență mai mare la impurități şi elemente de contaminare.

Ca aplicații practice ale fluidelor magnetoreologice se menționează: amortizoare şi sisteme de frânare controlabile pentru autovehicule grele, protecția cockpiturilor (locuri rezervate piloților) de elicopter în caz de accidente sau a protezelor membrelor inferioare (moale la mers şi dur la coborârea scărilor), amortizoare pentru protecția clădirilor la cutremure, superfinisarea lentilelor sau oglinzilor optice ale telescoapelor, membre ale roboților care să le imite pe cele umane.

În tabelul 3.17 se prezintă o comparație între fluidele electroreologice (ER) şi cele magnetoreologice (MR).

c) – Cristalele lichide. Am fost obişnuiți să considerăm că materia se prezintă sub trei forme (solidă, lichidă şi gazoasă), dar ea se mai poate prezenta şi sub formă de plasmă şi de cristale lichide. Cristalele lichide sunt substanțe care combină proprietățile materialelor solide cristaline, ale căror atomi sunt distribuiți în spațiu după o regulă bine organizată, cu proprietățile lichidelor convenționale, ale căror atomi nu respectă o astfel de regulă (fig. 3.100).

În stare solidă, moleculele sunt foarte ordonate, având puțină libertate de mişcare, iar starea lichidă este caracterizată de o orientare dezordonată a acestora. Orientarea moleculelor cristalelor lichide este cuprinsă între cele două stări.

Istoria descoperirii şi evoluţiei cunoştinţelor referitoare la cristalele lichide este prezentată în tabelul 3.18.

*Tabelul 3.17.***Comparaţie între fluidele electroreologice şi cele magnetoreologice**

Proprietatea	**Fluide electroreologice**	**Fluide magnetoreologice**
Rezistenţa la forfecare	2…5 kPa (3…5 kV/mm) Câmp limitat de tensiunea de străpungere	50…100 kPa (150…250kA/m). Câmp limitat de saturaţie
Vâscozitatea	0,2…0,3 Pa·s (la 25 ^{0}C)	0,2…0,3 Pa·s (la 25 ^{0}C)
Temperatura de funcţionare	10…90 ^{0}C (ionic) –25…+125 ^{0}C (anhidric)	–40…+150^{0}C (limitată de lichidul purtător)
Densitatea de curent	2…15 mA/cm^2 (4kV/mm la 25 ^{0}C)	
Densitatea	1…2,5 g/cm^3	3…4 g/cm^3
Particulele conducătoare	Pulberi de bariu şi titan	FeCO, aliaje Fe-Co
Culoarea	Opacă sau transparentă	Brună, neagră, gri sau opacă

Ceea ce diferenţiază un lichid cristalizat (cristalul lichid poate fi denumit şi astfel) de un lichid convenţional, este forma moleculelor. În primul, acestea sunt subţiri şi alungite şi chiar dacă poziţia moleculelor este aleatorie, orientarea lor este aproape ordonată. Majoritatea cristalelor lichide sunt constituite din combinaţii chimice de natură organică aflate în stare lichidă. Sub acţiunea unui câmp electric, ele îşi ordonează moleculele bipolare după direcţia câmpului. Chiar dacă unele molecule nu formează dipoli permanenţi, câmpul electric produce o rearanjare a electronilor şi protonilor acestora, astfel că, în final şi aceste molecule vor fi polarizate. Aceeaşi influenţă o are şi câmpul magnetic.

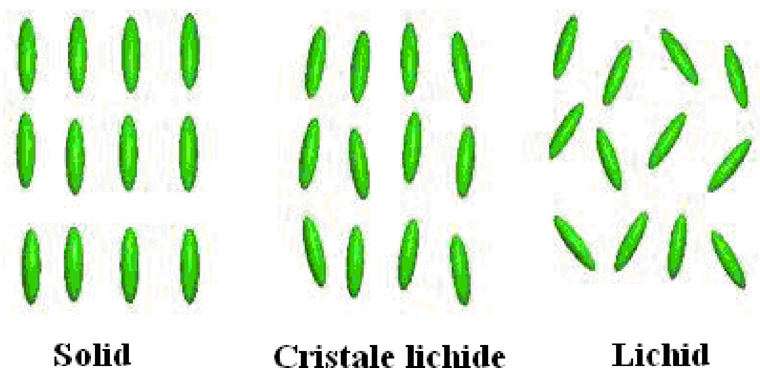


Fig. 3.100. Orientarea moleculelor în materiale.

Tabelul 3.18. **Istoricul apariţiei cristalelor lichide**

Anul	**Scurt istoric**
1888	Botanistul şi chimistul austriac Friedrich REINITZER (1857-1927) descoperă natura cristalină a benzoatului de colesteril extras din morcovi, constatând că are două puncte de topire.
1904	Fizicianul german Otto LEHMANN (1855-1922), considerat a fi „părintele” cristalelor lichide, publică lucrarea *Flüssige Kristalle*, constatând birefrigerenţa acestora şi consacrându-le denumirea.
1911	Mineralogul francez Charles-Victor MAUGUIN (1878-1958) efectuează primele experienţe cu cristale lichide între două plăci subţiri.
1922	Mineralogul şi cristalograful francez Georges FRIEDEL (1865-1933) descrie structura şi proprietăţile cristalelor lichide şi le clasifică în trei categorii: nematice, colesterice şi smectice.
1927	Fizicianul rus Vsevolod-Konstantinovici FREDERIKS (1885-1944) descoperă tranziţia de fază a cristalelor lichide, produsă prin aplicarea unui câmp electric sau magnetic asupra cristalelor nedeformate (*tranziţie Frederiks*), factor esenţial al tuturor tehnologiilor Liquid Crystal Display (LCD) – afişaj cu cristale lichide.
1936	Marconi Wireless Telegraph Company din America brevetează prima aplicaţie practică a cristalelor lichide.
1962	Cercetătorul american Richard WILLIAMS de la Radio Corporation of America (RCA) descoperă caracteristicile electro-optice ale cristalelor lichide.
1962	Chimistul american George W. GRAY (n. 1926) publică prima carte referitoare la cristalele lichide (*Molecular Structure and Properties of Liquid Crystals*).
1964	Inginerul american George H. HEILMEIER (n. 1936) a descoperit *efectul dispersiei dinamice* (DSM), punând bazele viitorului ecran LCD.
1970	Societatea Hoffmann – La Roche din Elveţia brevetează *efectul câmpului nematic în elice* care va sta la baza afişajelor electronice.
1972	În SUA se fabrică primul panou cu afişaj electronic.
1983	Firma Brow, Boveri & Cie din Elveţia brevetează un ecran super-nematic în elice cu cristale lichide monocrome.
1990	În SUA şi Germania se brevetează transmisiile optice prin cristalele lichide şi noi dispozitive de afişaj electro-optic.
1991	Fizicianul francez Pierre-Gilles DE GENNES (1932-2007) este distins cu Premiul Nobel pentru fizică pentru cercetări asupra cristalelor lichide şi polimerilor.
1992	Firma Hitachi din Japonia începe fabricarea ecranelor LCD pe baza tehnologiei In Plane Switching (IPS).
1996	Firma Samsung din Coreea de Sud abordează o tehnologie optică ce permite dezvoltarea LCD-urilor, rămasă prioritară până astăzi.
2007	Vânzarea televizoarelor LCD o depăşeşte pe cea a televizoarelor CRT (cu tuburi catodice).
2011	Firma Toshiba din Japonia a realizat un panou LCD destinat unui calculator personal cu 2560x1600 pixeli, cu afişare de caractere chinezeşti, ceea ce este un record în domeniu.

Cristalele lichide se prezintă sub trei faze (fig. 3.101): nematică, colesterică şi smectică.

Faza nematică (de la grecescul *nematos* = fir) este cea mai apropiată de un lichid izotrop. Moleculele nu sunt aşezate într-o ordine pozițională strictă, dar sunt orientate după o direcție aproximativ longitudinală, fiind foarte frecvent utilizate în electronică.

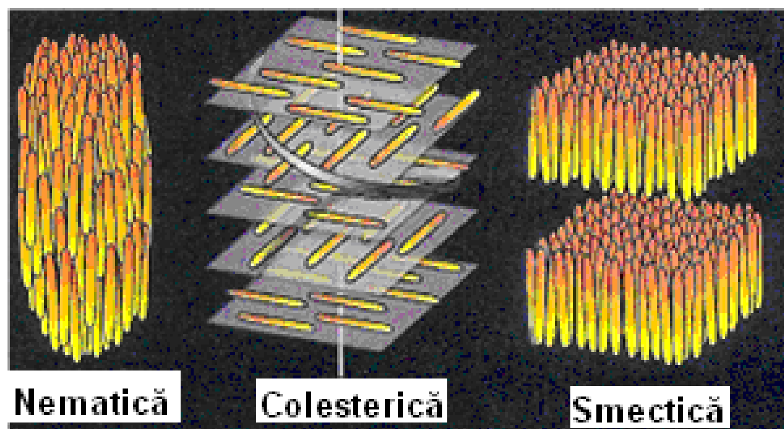


Fig. 3.101. Fazele cristalelor lichide.

Faza colesterică este de fapt o fază nematică elicoidală, alcătuită din molecule dispuse în straturi plan-paralele, moleculele fiecărui strat fiind orientate perpendicular față de cele ale stratului vecin. Straturile sunt în continuă mişcare de rotație, astfel că moleculele acestora dau impresia unei elice.

Faza smectică (de la grecescul *smecma* = săpun) se caracterizează printr-o aşezare în straturi a moleculelor, moleculele fiecărui strat având o orientare nematică. Este posibilă şi deplasarea moleculelor de pe un strat pe altul, dar cu un consum sporit de energie.

Cristalele lichide au proprietatea de a polariza lumina (fig. 3.102). Lumina naturală nu este polarizată, ea propagându-se în toate direcțiile (fig. 3.102.a). La trecerea printr-un cristal lichid, vibrațiile particulele luminoase *E* şi *B* au loc într-o singură direcție, adică mişcarea ondulatorie se propagă într-un singur plan de vibrație, ce cuprinde direcția de vibrație şi direcția de propagare (fig.3. 102.b).

De asemenea, cristalele lichide au şi proprietatea de birefringență, adică dublarea prin refracție a unei raze de lumină la pătrunderea în cristal. Astfel, dacă o rază de lumină trece printr-un polarizator şi traversează un cristal lichid, ea se dublează în două raze cu polarități diferite. Aşa se explică descompunerea luminii albe în raze colorate (ROGVAIV).

Cristalele lichide folosite în LCD sunt structurate nematic. Fiecare celulă dintr-un LCD este alcătuită dintr-un strat de molecule perpendiculare aranjate între două plăci de sticlă şi doi polarizatori (fig. 3.103). Fără un cristal lichid între filtrele de polarizare, lumina care trece printr-un filtru ar fi blocată de electrozi.

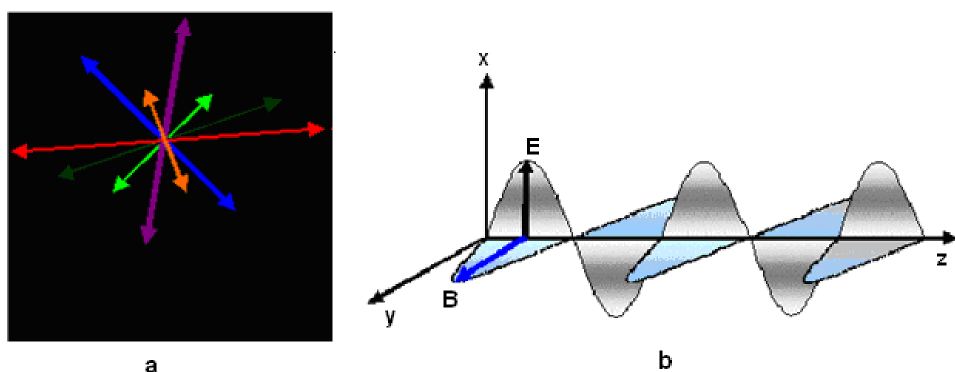


Fig. 3.102. Lumină naturală şi lumină polarizată.

Lumină incidentă
Polarizator 1
Plăci de sticlă
Direcția cristalelor
Polarizator 2
$V = 0$
$V > V_s$
a) - Celulă transparentă
b) - Celulă opacă

Fig.3.103. Celulă cu cristale lichide.

Când V = 0 (fig. 3.103.a), cristalele dintre plăcile de sticlă îşi schimbă progresiv direcția, formând o elice care se roteşte cu 90^0. Astfel, lumina care traversează prima placă de sticlă, se va roti şi ea cu 90^0, trecând prin al doilea polarizator, ortogonal față de primul, deci celula este transparentă.

Prin aplicarea unui câmp electric celulei ($V > V_s$), cristalele lichide se orientează după direcția câmpului (fig. 3.103.b) şi nu mai formează o elice. Lumina nu se mai roteşte, fiind blocată de al doilea polarizator, iar celula devine opacă.

Aplicația cea mai cunoscută a cristalelor lichide este ecranul cu cristale lichide (LCD).Există şi termometre cu cristale lichide, pentru gama de temperaturi –30…+20 ^{0}C, precum şi aparate pentru detectarea tumorilor precoce care nu pot fi puse în evidență prin radiografii sau alte metode de investigare. Se ştie că tumorile au o temperatură mai mare decât a țesuturilor înconjurătoare, căldura degajată de tumori fiind pusă în evidență de un timbru cu cristale lichide aplicat pe suprafața pielii. Alte aplicații ale cristalelor lichide se referă la mediul industrial: măşti de sudură sau controlul nedistructiv al pieselor metalice pentru depistarea defectelor interne.

O aplicație interesantă a cristalelor lichide o constituie aşa-numita „sticlă inteligentă”, formată dintr-un strat subțire de cristale lichide, amplasat între două plăci de sticlă sau de material plastic transparent (fig. 3.104). În lipsa unui câmp electric, cristalele lichide nu sunt aliniate şi poziția lor dezordonată împrăştie razele de lumină în toate direcțiile, fereastra devenind mată. La aplicarea câmpului electric, cristalele lichide se orientează ordonat, permițând razelor de lumină să străbată sticla, care devine transparentă. Această proprietate oferă o protecție comodă împotriva radiațiilor solare puternice, precum şi posibilitatea realizării unor indicatoare optice de tip nou.

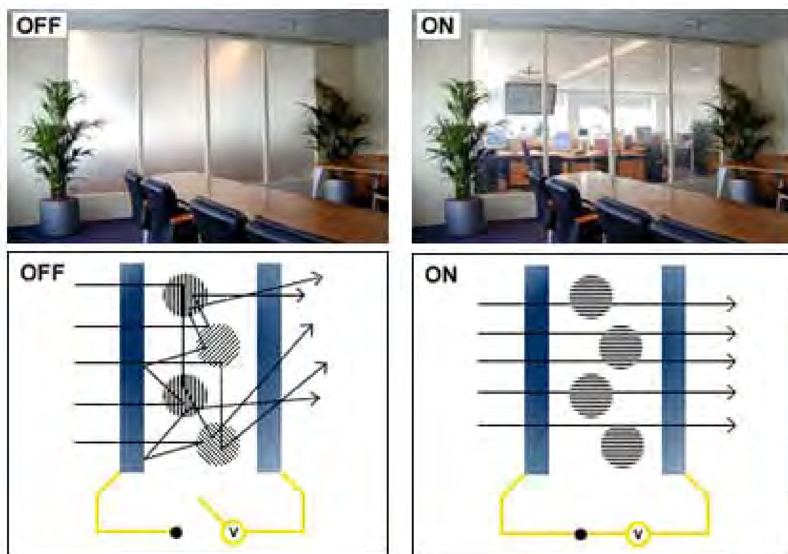


Fig. 3.104. Sticla inteligentă.

d) – Muşchii artificiali sunt materiale sintetice care se comportă asemănător cu muşchii biologici. Aceste materiale se dilată sau se contractă sub acțiunea unor stimuli chimici sau electrici.

Astfel, fasciculele de fibre fabricate din geluri de polimeri se contractă prin

introducerea într-o soluţie acidă, datorită ionilor negativi ai polimerului care sunt atraşi de ionii pozitivi ai soluţiei acide care impregnează gelul. Prin introducerea gelului într-o soluţie bazică, ionii negativi ai gelului sunt respinşi de ionii negativi ai soluţiei, provocând dilatarea gelului. Efectul mecanic este similar cu acţiunea ţesutului muscular natural.

Polimerii electroactivi se dilată sau se contractă în prezenţa unui câmp electric. Aceşti polimeri pot fi dielectrici, feroelectrici sau ionici. Ca polimeri dielectrici se folosesc polimerii electrostrictivi şi elastomerii, iar ca polimer feroelectric, polifluorura de viniliden (PVDF). Acuitatea acestor polimeri creşte prin introducerea în compoziţia lor a unor fluide electroreologice.

Printre aplicaţiile muşchilor artificiali se enumeră: sisteme microelectromecanice pentru acţionări inteligente, perfecţionarea scrierii Braille, minipompe pentru administrarea medicamentelor fluide, membrane optice pentru corectarea aberaţiilor luminii, proteze umane, roboţi cu aspect uman (androizi) sau sfinctere artificiale pentru tratamentul incontinenţei urinare.

3.6.5.4. Aplicaţii viitoare ale materialelor inteligente . Materialele inteligente se inspiră din ce în ce mai mult din modele biologice. De câţiva ani, structura membranelor biomoleculare, proteinele, structura ADN-ului, polizaharidele şi lipidele constituie modele pentru crearea de noi materiale inteligente, ale căror posibile aplicaţii vor fi tratate în continuare.

a) – Electronica moleculară a apărut în anii 70 ai secolului trecut. ADN-ul şi proteinele sunt microprocesoare capabile să recunoască semnale (electroni, ioni, molecule mici) şi să reacţioneze la modificările fizice sau chimice. Tehnologiile moderne deschid calea fabricării unor noi tipuri de polimeri conductori şi semiconductori. Componentele electronice moleculare prezintă multiple avantaje faţă de cele clasice: asamblare tridimensională, proprietăţi mai bune, miniaturizare apropiată de structurile biologice şi posibilitatea realizării interfeţei cu structurile vii.

Graţie chimiei organice şi geneticii, este posibilă fabricarea tranzistoarelor din materiale plastice, mai uşoare, mai mici şi mai ieftine decât cele clasice. Pentru prima dată, va fi posibilă dezvoltarea unui circuit, după modelul creşterii unui cristal. Pentru aceasta, cercetătorii va trebui să realizeze fire, comutatoare şi memorii moleculare reversibile, pe care să le asambleze în sisteme cu funcţiuni coordonate şi nu în ultimul rând, cercetătorii va trebui să repare aceste sisteme, înlocuind moleculele sau componentele care nu funcţionează corect. Fără îndoială, electronica moleculară va juca un rol din ce în ce mai important în anii care vin.

b) – Textilele inteligente vizează ţinute militare de camuflaj, echipamente care să permită antrenorilor monitorizarea efortului depus de sportivi sau tricouri care să-şi schimbe imprimeurile.

Echipamentele militare de camuflaj conţin minicamere video care detectează toate elementele de mediu, adaptând imediat culoarea de camuflaj propice. Soldaţii vor deveni astfel un fel de cameleoni a căror culoare se confundă cu cea a mediului înconjurător. Ba mai mult, se vorbeşte chiar de realizarea unor ţinute care să-i facă invizibili pe luptători!

În ceea ce-i priveşte pe sportivi, se are în vedere realizarea unor echipamente care încorporează microcapsule cu produse chimice speciale, ce reacționează la temperatură şi la efort, schimbându-şi culoarea. Antrenorii şi medicii sportivi vor putea astfel să urmărească de la distanță eforturile sportivilor. De asemenea, vor fi realizate tricouri şi alte obiecte de îmbrăcăminte care îşi vor modifica imprimeurile în funcție de temperatură şi luminozitate, după principiul cristalelor lichide. În Japonia au fost fabricate deja obiecte de îmbrăcăminte care resping insectele nedorite, fără a avea vreun miros sau vreo influență nefastă asupra purtătorilor.

Se fac cercetări pentru fabricarea unor textile care încorporează materiale cu schimbare de fază. Prin microîncapsulări depuse pe țesătură odată cu pasta de imprimare, acestea acționează ca un termoregulator, stocând căldura corpului şi eliberând-o doar atunci când este nevoie. De asemenea, se vor fabrica materiale-cameleon cu comportament cromatic modificabil, în funcție de lumină (fibre fotocromatice), de temperatură (fibre termocromatice), de câmpul electric (fibre electrocromatice), de presiune (fibre piezocromatice) şi de umiditate (fibre cu cromism solvabil).

c) – Aplicațiile medicale pornesc de la structura ADN-ului care este un biocalculator de o complexitate încă nedescifrată. Încet-încet se vor realiza interfețe între materiale biologice inteligente şi materiale de sinteză, prin fabricarea unor cipuri biotice implantabile, care să trateze diverse afecțiuni metabolice (retine artificiale, pompe de insulină, stimulatoare şi defibrilatoare cardiace) sau să realizeze teste biochimice sau medicale.

În ceea ce priveşte tratarea cancerului, se urmăreşte comanda deschiderii porilor din membrana primară a celulelor canceroase de către un curent emis de un microprocesor, prin care să se introducă mici molecule-medicament ce distrug celula canceroasă. În felul acesta, celulele sănătoase sunt protejate, iar cele canceroase distruse. La rândul lor, după deschiderea porilor, celulele canceroase emit un semnal electric recepționat de microprocesor, realizându-se astfel un circuit bidirecțional între organismul viu şi calculator.

d) – Industria farmaceutică face cercetări pentru realizarea unor capsule care să elibereze medicamentul într-o perioadă mai lungă de timp, sub acțiunea unui câmp electric slab. Capsula va fi implantată sub piele, iar curentul electric va fi programat de un microprocesor. Metoda este eficace în administrarea insulinei pentru diabetici, dar şi a analgeticelor sau hormonilor. Microprocesorul comandă eliberarea dozei optime de medicament, la timpul potrivit.

e) – Industria alimentară este foarte aproape de realizarea unor ambalaje inteligente care să absoarbă oxigenul ce vine în contact cu alimentele. Aceste ambalaje mai au proprietatea de a omorî microbii sau viruşii care contaminează alimentele şi de a păstra o umiditate dorită, ajungându-se astfel la mult dorita înlăturare a conservanților dăunători sănătății. Ambalajele vor fi fabricate din zeoliți, o varietate de argilă care conține săruri de argint şi de cupru ce omoară microbii, precum şi din gluten de grâu, care este biodegradabil şi chiar comestibil.

PARTEA A DOUA

4

TEHNOLOGII NECONVENȚIONALE

4.1. Domenii de utilizare a tehnologiilor neconvenționale

Procedeele de prelucrare prin aşchiere studiate anterior devin ineficiente din punct de vedere economic sau chiar imposibil de aplicat în anumite situații, cum ar fi:

- suprafețele de prelucrat au configurații complexe;
- prelucrarea unor piese confecționate din metale şi aliaje cu proprietăți deosebite (rezistență foarte mare la rupere, refractaritate ridicată, rezistențe înalte la coroziune şi cavitație, fragilitate mare etc.);
- obținerea unei precizii dimensionale foarte ridicate şi a unei calități foarte bune a suprafețelor prelucrate şi realizarea unor alezaje microdimensionale;
- realizarea unor productivități sporite în condițiile unor însemnate economii de combustibili convenționali, materii prime şi resurse energetice.

Aceste limitări au determinat apariția şi dezvoltarea unor metode de prelucrare noi care se numesc *tehnologii neconvenționale*, la care îndepărtarea adaosului de prelucrare se face sub formă de microparticule ca urmare a interacțiunii dintre piesă şi semifabricat şi un agent eroziv. Agentul eroziv este un sistem fizico-chimic sau fizico-mecanic complex care cedează piesei energie de natură electrică, electromagnetică, electrochimică, termică, chimică, mecanică sau de radiație. Energia agentului eroziv distruge stratul superficial al piesei de prelucrat prin topire, vaporizare, sublimare, ruperi de material sub formă de microparticule sau prin coroziune. În toate cazurile, pentru erodarea stratului superficial al piesei de prelucrat, energia agentului eroziv trebuie să depăşească energia de legătură a particulelor de material. De asemenea, particulele erodate trebuie îndepărtate de spațiul de lucru deoarece ele pot frâna sau chiar opri continuarea eroziunii.

În acelaşi timp, tehnologiile neconvenționale au un cost de prelucrare mai ridicat, datorită valorii mari a utilajelor şi gradului avansat de automatizare. Procedeele clasice de prelucrare sunt mai eficiente la piesele cu prelucrabilitate uşoară şi complexitate redusă, iar tehnologiile neconvenționale sunt indicate la piesele cu prelucrabilitate dificilă şi complexitate ridicată.

Clasificarea procedeelor de prelucrare prin eroziune se face după mai multe criterii (natura energiei distructive, natura agentului eroziv, fenomenul fundamental etc.), în continuare prezentându-se o clasificare după natura agentului eroziv.

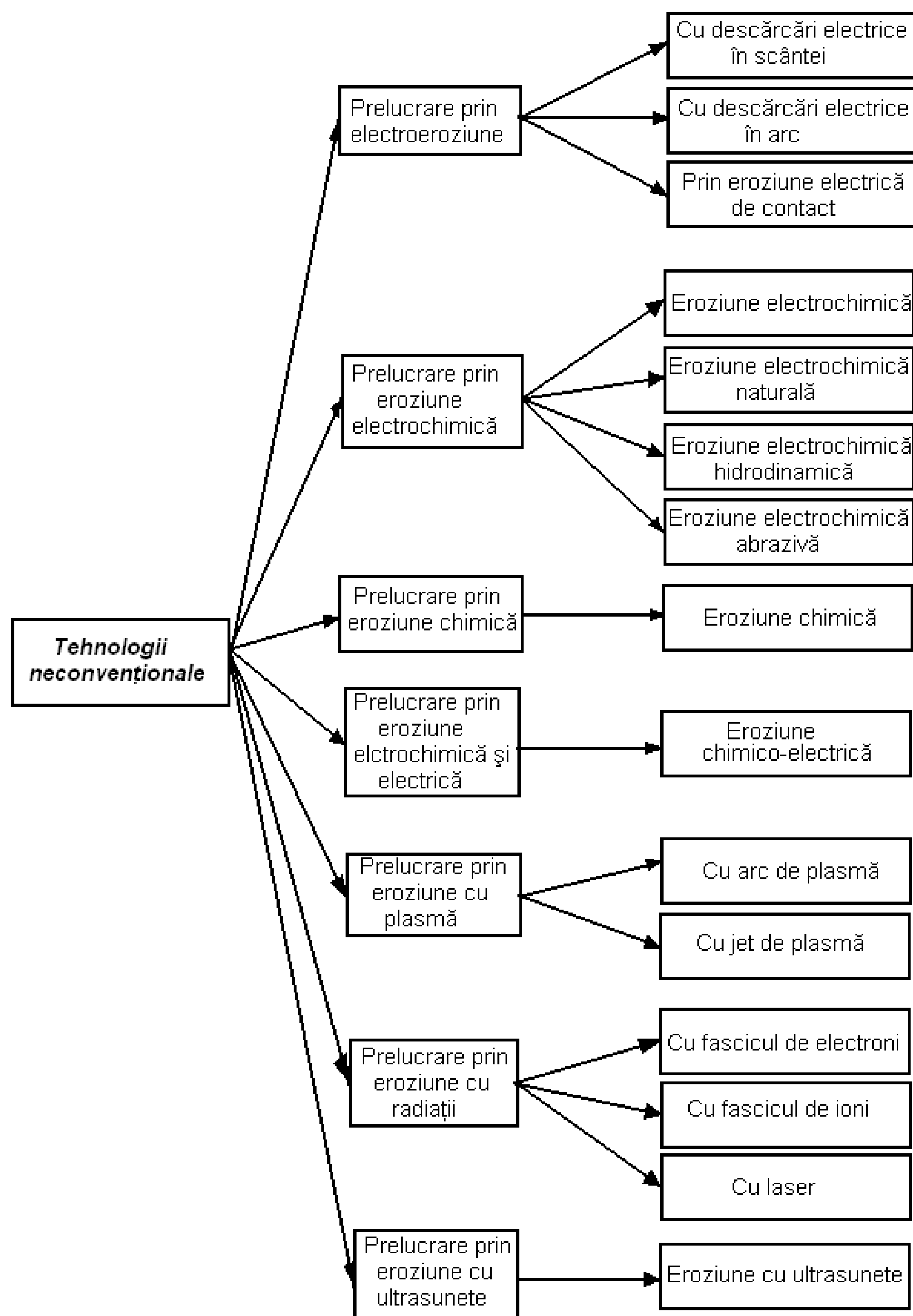


Fig. 4.1. Clasificarea procedeelor de prelucrare prin eroziune.

4.2. Prelucrarea prin electroeroziune

4.2.1. Generalități

Prelucrarea prin electroeroziune se bazează pe efectele erozive complexe, discontinue şi localizate ale unor descărcări electrice prin impuls, amorsate repetat între electrodul-sculă *1* şi piesa de prelucrat *2* (fig. 4.2) care sunt conectate la sursa de curent *U*. Piesa şi electrodul-sculă sunt scufundate în dielectricul *3* şi între ele există un spațiu *S* numit interstițiu de prelucrare în care au loc descărcările electrice. Acestea conduc la desprinderi de material atât din electrodul-sculă, cât mai ales din piesă.

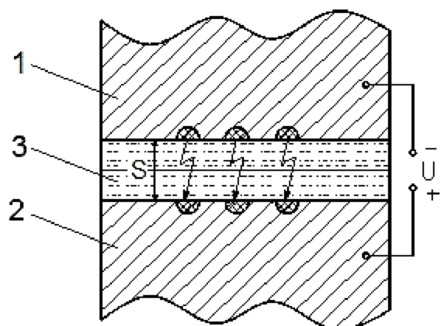


Fig. 4.2. Schema de principiu a prelucrării prin electroeroziune.

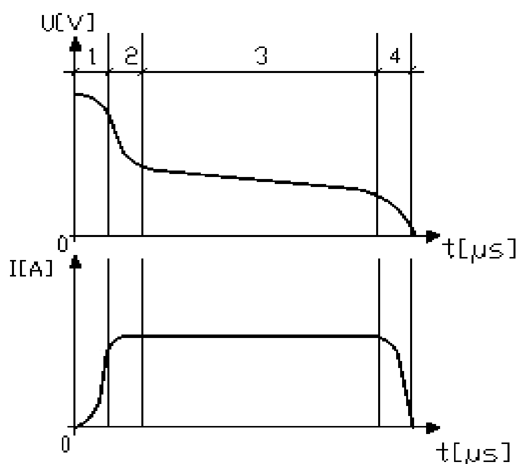


Fig. 4.3. Stadiile descărcării electrice.

Descărcarea electrică are mai multe stadii (fig. 4.3): *1* – luminescență (străpungerea mediului dielectric prin eliberarea unor electroni sau ioni de către electrodul-sculă); *2* – scânteie (formarea canalului de plasmă termică); *3* – arc nestaționar (stabilizarea parametrilor *U* şi *I*); *4* – încheierea ciclului de descărcare. Un ciclu nu durează mai mult de 10^{-1}s.

În canalele de descărcare se formează plasmă (3.000…20.000 °C) care topeşte şi vaporizează rapid materialul piesei, fenomenul petrecându-se sub forma unor microexplozii care se aud şi se văd. Simultan apar şi unde de şoc mecanice care, împreună cu gazele care iau naştere, deformează canalele de plasmă şi conduc la apariția unor bule de gaz în interstițiul de lucru. Presiunea în aceste bule este foarte mare, astfel că ea asigură şi evacuarea particulelor erodate din microcraterele formate.

4.2.2. Fenomene fizico-mecanice şi chimice la prelucrarea prin electroeroziune

Prelucrarea prin electroeroziune a fost descoperită în 1943 de cercetătorii ruşi, soții Lazarenko, iar prima maşină de prelucrat prin electroeroziune a fost construită tot de către ruşi, în 1955. Începând cu anii 1970, procedeul s-a generalizat. În fig. 4.4. sunt prezentate fenomenele fizico-mecanice şi chimice care au loc în timpul prelucrării, observându-se trei faze:

a) – Inițierea descărcării (fig. 4.4.a) are loc în urma ionizării dielectricului de către câmpul electric, prin formarea unui canal conducător între electrodul-sculă şi piesă. Ionizarea se produce acolo unde câmpul electric atinge o intensitate maximă, adică în zonele în care distanțele dintre asperitățile sculei şi ale piesei sunt minime. Aceste canale au diametre de la câțiva micrometri până la 800…900 μm şi lungimi de 100…600 μm sau chiar de câțiva milimetri. Ionizarea durează foarte puțin (10…100 ns) şi conduce la formarea plasmei care are o temperatură de 3.000…12.000 ^{0}C, ea fiind constituită din atomi metalici vaporizați din sculă şi din piesă, ioni şi electroni.

b) – Topirea şi vaporizarea materialului piesei (fig. 4.4.b) se datorează plasmei din canalele conducătoare. În timpul acestei faze, curentul creşte, iar tensiunea scade. Particulele pozitive şi negative care au fost dislocate se orientează către catod sau către anod, printr-un canal foarte îngust, rezultând densități de curent de circa 10^6 A/cm^2 , ceea ce determină încălzirea locală a sculei şi piesei, topirea şi vaporizarea materialului piesei şi degradarea dielectricului. În jurul canalului de plasmă se formează o bulă de gaze şi o undă de şoc care se propagă radial în lichid.

c) – Înlăturarea microparticulelor erodate (fig. 4.4.c) începe în momentul decuplării curentului electric, când temperatura bulei de plasmă este de 3.000…20.000 ^{0}C. Prin efect hidrodinamic, cavitatea creşte până când presiunea sa internă este depăşită de presiunea hidrostatică a dielectricului, fiind distrusă prin implozie. Microparticulele lichide erodate sunt dispersate în dielectric sub formă de microsfere, iar în electrodul-sculă şi piesă se formează mici cratere. Producerea unei descărcări este urmată de o creştere locală a interstițiului, ceea ce determină ca următoarele descărcări să se amorseze în noi zone.

Temperatura ridicată din canalele ionizate determină fenomene de pirogenare, adică reacții chimice între gazele aflate la temperaturi înalte, aceste reacții consumând 4...16% din energia impulsurilor. Procesul de piroliză determină depunerea unei pelicule de gaze pe electrodul-sculă, fapt ce face ca uzura acestuia să fie mai mică. Dacă în dielectric se adaugă 2% sulf, micşorarea uzurii electrodului-sculă ajunge la 40...45%, datorită îngroşării peliculei protectoare.

După cum am menționat, procesul de electroeroziune conduce la apariția unor microparticule care trebuie evacuate rapid din interstițiul de lucru, în caz contrar procesul fiind încetinit sau chiar întrerupt complet. Eliminarea lor se face prin undele de şoc care apar, prin implozia bulelor de gaz şi mai ales datorită circulației forțate a dielectricului. Presiunea dielectricului nu poate fi însă prea mare, pentru că ar conduce la distrugerea canalelor de ionizare.

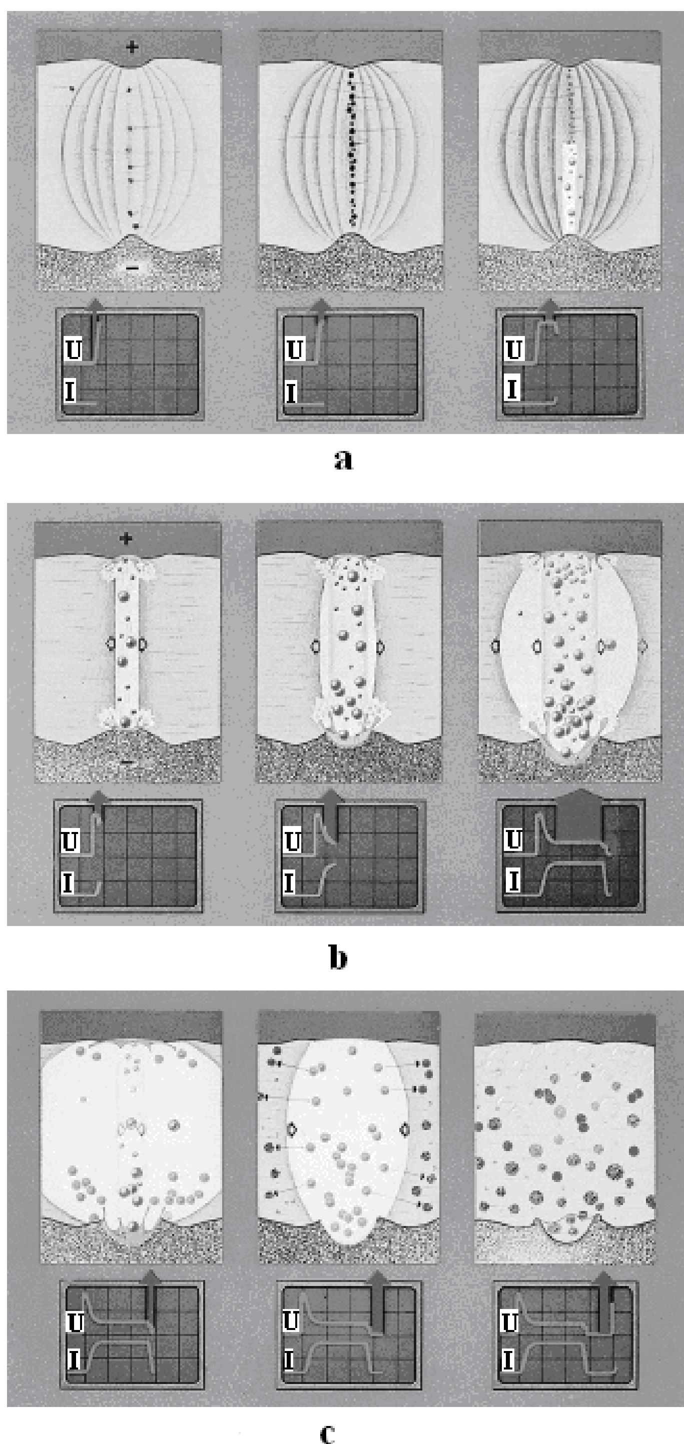


Fig. 4.4. Mecanismul fizic al prelucrării prin electroeroziune.

Fenomene erozive similare cu cele de pe suprafața piesei de prelucrat apar şi pe suprafața electrodului-sculă. Pentru o eroziune minimă a sa, electrodul-sculă se conectează la polul optim, în funcție de stadiile descărcării, şi se execută din materiale cu o bună conductibilitate termică sau cu o temperatură de topire ridicată (Al, Ag, Cr, Cu, Ni, W, Zr, grafit etc.).

Un element care influențează direct fenomenele fizico-mecanice şi chimice care au loc la prelucrarea prin electroeroziune este interstițiul de lucru. El se poate asimila cu o rezistență electrică neliniară, iar caracteristica tensiune-timp este formată din trei părți (fig. 4.5): *1* – porțiune cu cădere rapidă de tensiune în care se formează canalele de descărcare ($t_1 = 10^{-9}...10^{-7}$ s); *2* – porțiune cu o cădere mai lentă de tensiune (t_2 = 100...500 μs); *3* – porțiune cu tensiune constantă.

Reglarea interstițiului de lucru dintre electrozi se face în mod automat, el trebuind să fie constant, pentru evitarea fenomenului de scurtcircuitare. Aceasta ar conduce la apariția unor cavități mult mai mari decât în cazul descărcărilor normale şi la rebutarea pieselor. Interstițiul de lucru este mai mare la degroşare şi mai redus la finisare, în ambele cazuri el trebuind să asigure evacuarea gazelor care apar în timpul prelucrărilor.

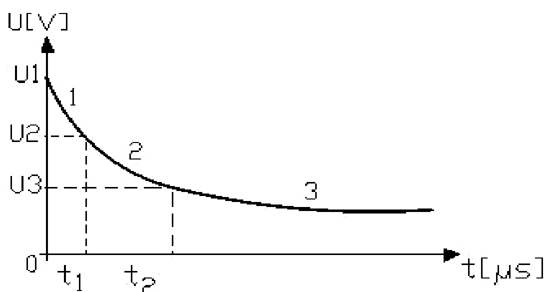


Fig. 4.5. Caracteristica tensiune-timp a interstițiului de lucru.

4.2.3. Dielectrici utilizați la prelucrarea prin electroeroziune

Un rol important în procesul de prelucrare electroerozivă îl are dielectricul utilizat, adică lichidul în care are loc descărcarea electrică şi circulația lui, de care depinde în mare măsură productivitatea prelucrării. Circulația dielectricului asigură îndepărtarea particulelor erodate care ar conduce la scurtcircuitarea interstițiului de lucru (fig. 4.6). Dielectricul trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să aibă rezistență chimică mare la acțiunea aerului;
- să-şi păstreze vâscozitatea în timpul prelucrării;
- să aibă conductibilități termică şi electrică reduse;
- să aibă temperatura de aprindere peste 40 °C;
- să se evaporeze cât mai puțin în timpul prelucrării, iar vaporii să nu fie nocivi;
- să fie stabil chimic la descărcări electrice repetate;
- să-şi păstreze proprietățile fizico-chimice în timp;
- să nu coste mult şi să poată fi filtrat şi reutilizat.

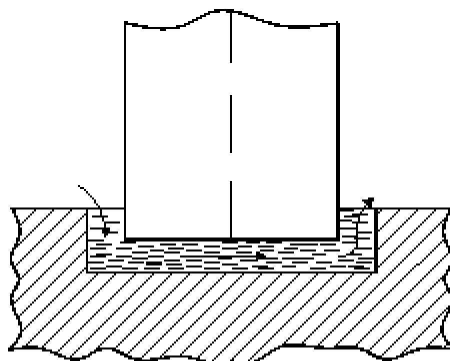


Fig. 4.6. Circulaţia dielectricului în interstiţiul de lucru.

Circulaţia sub presiune a dielectricului asigură îndepărtarea particulelor erodate (p = 0,6...1 bar).

Ca dielectrici pentru prelucrarea prin electroeroziune se utilizează apa, uleiurile industriale şi petrolul. Cel mai bun dielectric este un amestec de 80% petrol, 18% păcură şi 2% pulbere de sulf, iar pentru desfăşurarea normală şi continuă a procesului de electroeroziune, dielectricul trebuie curăţat de reziduuri prin filtrare.

4.2.4. Scule utilizate la prelucrarea prin electroeroziune

Prin electroeroziune pot fi prelucrate toate tipurile de materiale bune conducătoare de electricitate, fie că sunt moi, fie că sunt dure sau extradure. Ca urmare, alegerea materialului pentru electrozii-sculă se face în funcţie de materialul care se prelucrează, astfel încât să se obţină o uzură minimă la o dislocare maximă de material de prelucrat. De asemenea, alegerea materialului electrodului-sculă se face în funcţie de numărul pieselor care se execută. Astfel, în producţia de unicate şi de serie mică, se alege un material mai ieftin (cupru, alamă, grafit), iar pentru producţia de serie mare se alege un material mai rezistent, dar mai scump (pulberi sinterizate de cupru-grafit, wolfram-cupru).

Ţinând seamă de materialul din care se confecţionează electrozii-sculă, ei se obţin prin turnare, deformare plastică la cald sau la rece (matriţare, tragere, extrudare şi presare), sinterizare din pulberi metalice sau grafit şi depuneri galvanice, aducându-se la forma finală prin aşchiere. Electrodul-sculă este format dintr-o parte activă care participă direct la generarea suprafeţei şi dintr-o parte auxiliară cu care se fixează la maşina de prelucrat. În fig. 4.7 se prezintă câteva construcţii caracteristice de electrozi-sculă.

4.2.5. Generatoare de impulsuri folosite la prelucrarea prin electroeroziune

Generatorul de impulsuri este partea cea mai importantă a unei maşini de

prelucrat prin electroeroziune care asigură reglarea diferitelor regimuri electrice de prelucrare. Ele pot fi cu acumulare de energie (dependente) sau fără acumulare de energie (independente).

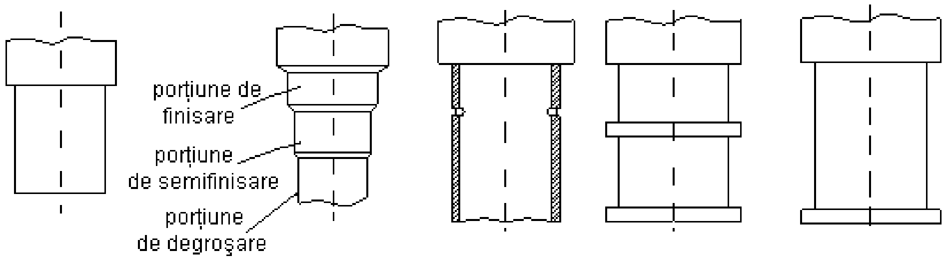


Fig. 4.7. Forme caracteristice de electrozi-sculă.

În fig. 4.8 se prezintă schema de principiu a unui generator cu energie înmagazinată în câmp electric (generator *RC*). De la o sursă de curent continuu *U* se alimentează prin rezistența *R* un condensator *C* la bornele căruia se conectează electrodul-sculă şi piesa de prelucrat.

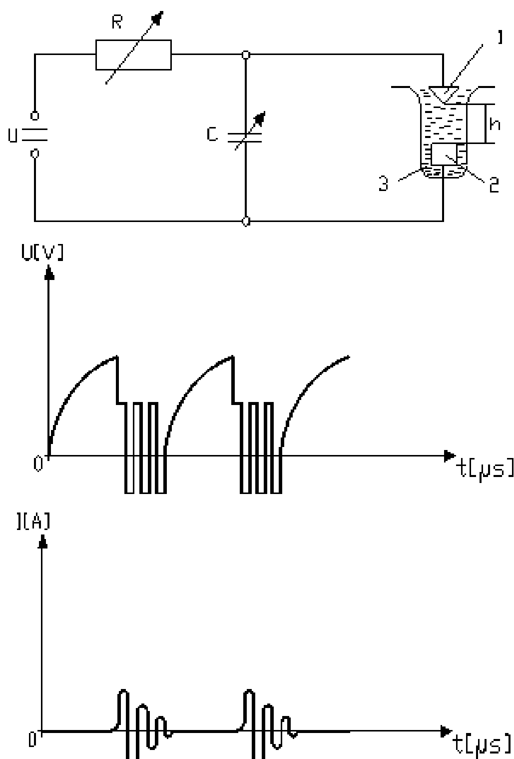


Fig. 4.8. Schema de principiu a generatorului de impulsuri *RC* şi forma impulsurilor.

Condensatorul se încarcă până la atingerea tensiunii necesare amorsării descărcărilor, după care se descarcă într-un timp mult mai scurt, între electrodul-sculă *1* şi piesa *2* aflate în dielectricul *3*. Puterea instalației nu poate depăşi 1 kW, iar schema prezintă următoarele dezavantaje: randament scăzut şi pierderi de energie de 10...20%; frecvența, durata, amplitudinea şi energia impulsului depind de starea fizică a interstițiului de lucru.

Generatoarele fără acumulare de energie sau independente se bazează fie pe întreruperea curentului furnizat de o sursă de curent continuu, fie pe generarea directă a impulsurilor cu ajutorul maşinilor electrice rotative sau a circuitelor cu saturație magnetică. În fig. 4.9 se prezintă schema de principiu a unui generator de impulsuri bazat pe întreruperea curentului, elementele de comutație cele mai folosite fiind:

- *tuburile electronice*, în cazul prelucrării cu scântei de înaltă frecvență şi putere sub 5 kW;

- *tranzistoarele*, în cazul prelucrării cu descărcări în arc electric de medie şi înaltă frecvență şi puteri până la 25 kW;

- *tiristoarele*, în cazul prelucrării cu descărcări în arc electric cu frecvențe medii şi joase şi puteri până la 50 kW.

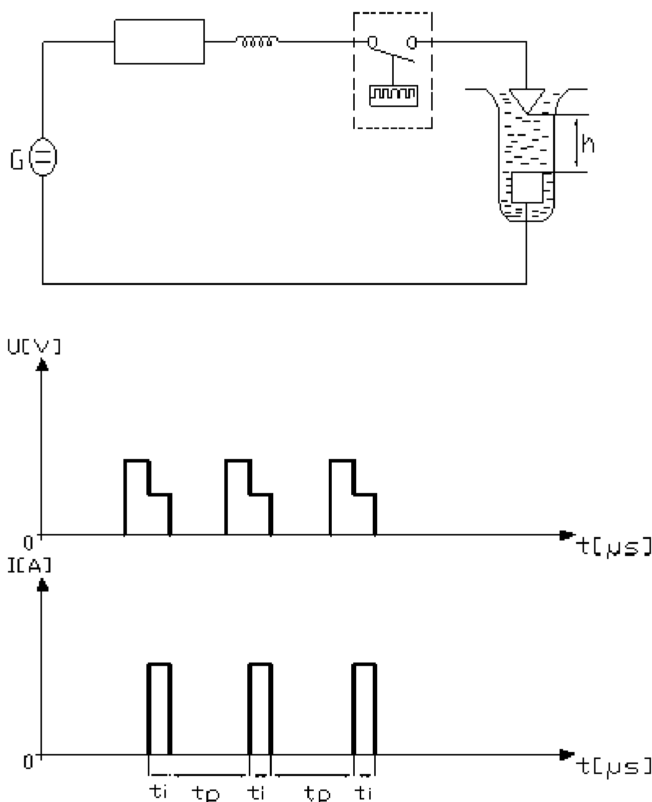


Fig. 4.9. Schema de principiu a generatorului de impulsuri cu întreruperea curentului.

Toate aceste generatoare au posibilitatea reglării frecvenței, duratei impulsurilor şi a coeficientului de umplere. Ele sunt alcătuite dintr-o sursă de curent continuu, o unitate pentru limitarea curentului, un întrerupător electric şi un sistem de comandă. Sursa de tensiune a generatorului este un transformator alimentat de la rețeaua trifazată, din secundarul căruia se obțin atât tensiunile de putere, cât şi cele de comandă. Aceste tensiuni sunt redresate cu redresoare de diferite tipuri.

4.2.6. Maşini de prelucrat prin electroeroziune

4.2.6.1. Maşina universală de prelucrat prin electroeroziune. Schema-bloc a maşinii universale de prelucrat prin electroeroziune este prezentată în fig. 4.10: *1* – batiu; *2* – carcasă cu echipamente electrice; *3* – cap portelectrod-sculă; *4* – electrod-sculă; *5* – cuvă cu dielectric; *6* – piesă; *7* – sanie longitudinală; *8* – sanie transversală; *I* – mişcare de rotație a electrodului-sculă; *II* – mişcare rectilinie a electrodului-sculă; *III* şi *IV* – mişcări de poziționare a piesei.

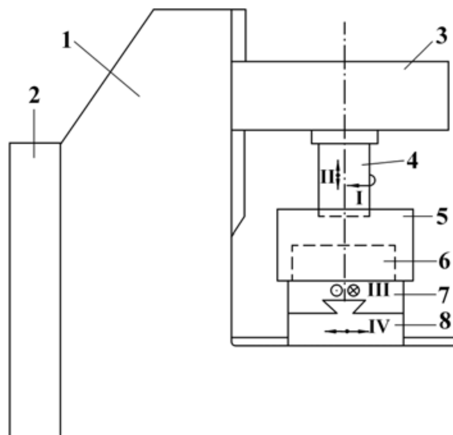


Fig. 4.10. Schema-bloc a maşinii universale de prelucrat prin electroeroziune.

Schema de principiu a maşinii universale de prelucrat prin electroeroziune este prezentată în fig. 4.11: *1* – generator de impulsuri; *2* – regulator de avans; *3* – electrod-sculă; *4* – piesă de prelucrat; *5* – cuvă cu dielectric de lucru; *6* – rezervor cu dielectric; P_H – pompă hidraulică; *F* – filtru; *7* – radiator de răcire; *8* – ghidaje; *I*,*II* – mişcările electrodului-sculă.

Regulatorul de avans asigură un interstițiu optim şi este alcătuit dintr-un motor electric de curent continuu şi un mecanism care transformă mişcarea de rotație a motorului într-o mişcare rectilinie-alternativă *II*. Servomecanismul are o construcție simplă, dar nu se poate utiliza decât pentru maşini de dimensiuni mici şi mijlocii. Pentru maşini grele, regulatorul de avans este electrohidraulic, având o construcție mai complicată. De asemenea, comanda servomecanismului de avans se poate realiza prin motoare pas cu pas, în acest caz deplasările fiind foarte

precise, putând atinge câțiva microni.

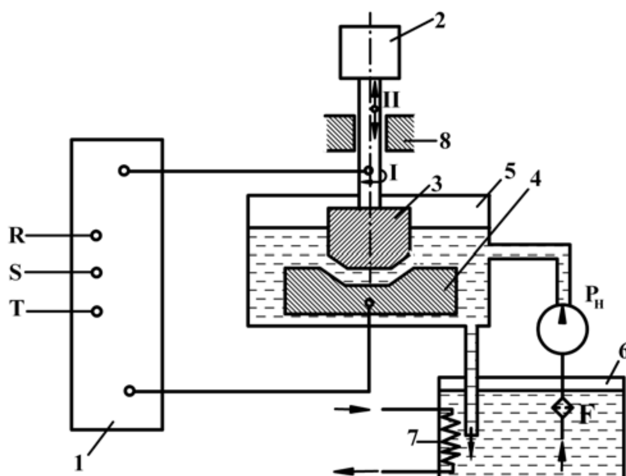


Fig. 4.11. Schema de principiu a maşinii universale de prelucrat prin electroeroziune.

4.2.6.2. Maşinile pentru tăierea materialelor prin electroeroziune se utilizează la debitarea pieselor executate din materiale foarte dure (fig. 4.12). După principiul de lucru sunt:

Fig. 4.12. Scheme pentru tăierea materialelor prin electroeroziune.

a) – Maşinile pentru tăierea metalelor cu electrod-sculă-disc sunt utilizate la debitarea barelor şi profilurilor, precum şi pentru realizarea unor crestături de precizie în țevi, plăci, bucşe elastice etc. (fig. 4.12.a). Discul execută atât mişcarea de rotație *I*, cât şi avansul vertical *II*, iar prinderea lui se face similar cu fixarea discurilor abrazive la maşinile de rectificat.

b) – Maşinile pentru tăierea metalelor cu electrod-sculă-bandă (fig. 4.12.b) utilizează ca sculă o bandă metalică şi sunt mai răspândite decât cele cu discuri deoarece pot realiza tăieturi după diferite contururi. Benzile au lățimi de 0,1...0,3 mm când sunt din alamă şi 0,6...1 mm când sunt din oțel şi execută mişcarea principală *I*, iar piesa, avansul rectiliniu *II*.

c) – Maşinile pentru tăierea metalelor cu electrod-sculă-sârmă (fig. 4.12.c) se utilizează la tăieturi de precizie şi la debitarea materialelor metalice deficitare şi scumpe, pentru a reduce pierderile de materie primă. Semnificația notațiilor este următoarea: *1* – dispozitiv portelectrod şi de avans; *2, 3* – tamburi pentru înfăşurarea-desfăşurarea sârmei-electrod; *4, 5* – role pentru conducerea sârmei-electrod; *6* – sârmă-electrod; *7* – piesă. Sârma-electrod are diametre de 0,05...0,5 mm dacă este din cupru sau alamă şi mai mici de 0,1 mm dacă este confecționată din wolfram. Ea execută mişcarea rectilinie *I*, iar dispozitivul portelectrod, mişcarea de avans *II*.

4.2.6.3. Maşinile specializate de prelucrat prin electroeroziune se folosesc la rectificare şi filetare.

a) – Maşinile de rectificat prin electroeroziune se utilizează pentru rectificarea rotundă sau plană a pieselor din materiale extradure (fig. 4.13): *1* – electrod-sculă; *2* – piesă; *3* – suportul piesei; *4* – dielectric; *I, II, III* – mişcările realizate de către electrodul-sculă şi piesa de prelucrat.

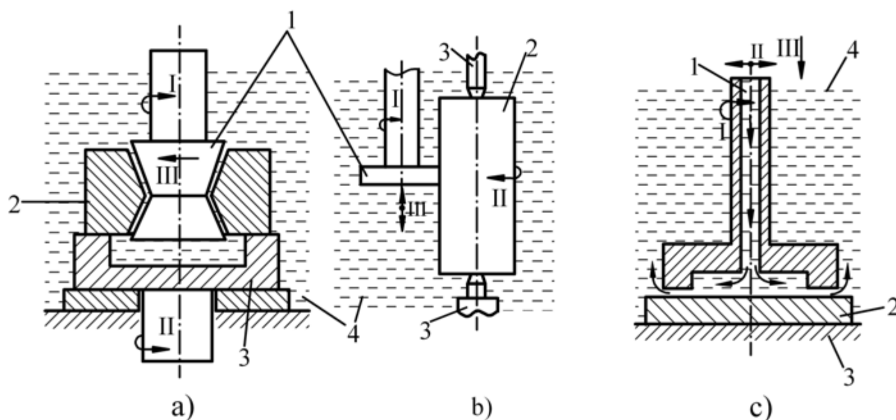


Fig. 4.13. Rectificarea rotundă sau plană a pieselor din materiale extradure.

Mişcările de rotație se fac cu turații scăzute (n = 30…350 rot/min), iar electrozii-sculă se confecționează din cupru electrolitic, alamă sau grafit.

b) – Maşinile de filetat prin electroeroziune se utilizează pentru tăierea

tuturor tipurilor de filete interioare sau exterioare în materiale extradure, cum ar fi carburile metalice (fig. 4.14).

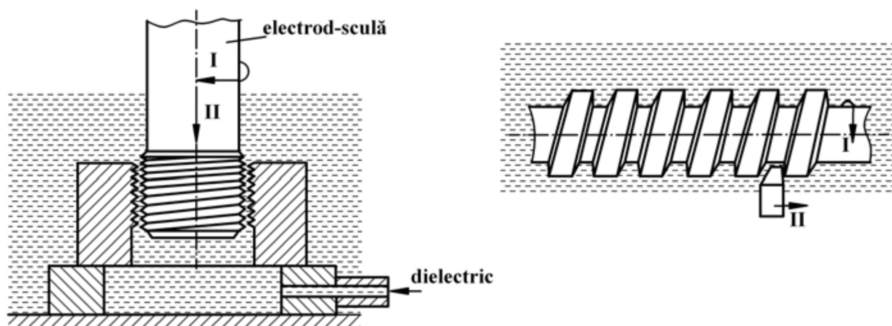


Fig. 4.14. Prelucrarea filetelor prin electroeroziune.

4.3. Prelucrarea prin eroziune electrochimică

4.3.1. Generalități

Prelucrarea prin eroziune electrochimică se bazează pe *fenomenul dizolvării anodice*, adică trecerea în soluție a materialului din care este confecționat anodul prin nişte reacții chimice simple. Avantaje: productivitatea prelucrării este ridicată; precizia dimensională şi calitatea suprafețelor prelucrate sunt foarte bune; prelucrarea nu conduce la modificări structurale sau tensiuni superficiale în piesele prelucrate; posibilitatea obținerii unor piese la forma finală, fără prelucrări ulterioare. În acelaşi timp, procedeul necesită instalații costisitoare, iar controlul parametrilor de lucru este dificil.

În interstițiul de lucru au loc o serie de fenomene fizico-mecanice şi chimice, datorită trecerii curentului electric prin electrolit, între electrodul-sculă şi piesă. Ionii pozitivi de la anod trec în soluție şi reacționează cu ionii negativi existenți în electrolit, formând compuşi chimici (hidroxizi metalici) care se depun ca reziduuri în electrolit. În fig. 4.15 este reprezentat schematic un proces de dizolvare anodică a unui oțel, având ca electrolit o soluție apoasă de NaCl. Hidroxizii de fier se vor depune în cuva de electroliză, iar hidrogenul se degajă la catod, împreună cu sărurile produse (noxe), motiv pentru care băile trebuie închise şi prevăzute cu aerisire forțată.

Productivitatea prelucrării electrochimice este cantitatea de material dizolvată chimic sub acțiunea curentului electric, în unitatea de timp. Cantitatea efectivă de metal erodat de la anod se poate determina pe baza legilor lui Faraday:

- *legea întâi*: masa unei substanțe depuse la un electrod în timpul electrolizei este proporțională cu cantitatea de electricitate trecută prin electrolit:

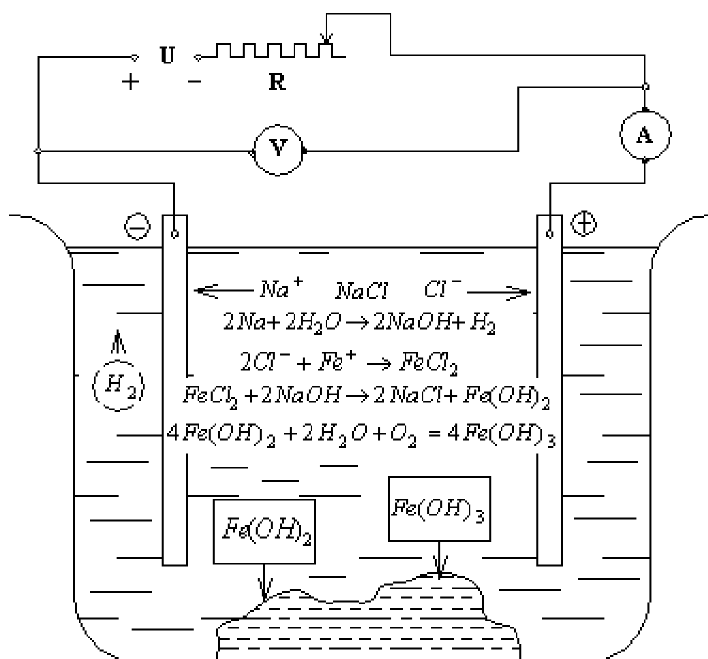


Fig. 4.15. Schema de principiu a prelucrării prin eroziune electrochimică.

$$m = K \cdot I \cdot t \cdot \eta, \text{ g} \tag{2.1}$$

unde: K – echivalentul electrochimic al substanței, mg/Coulomb; I – intensitatea curentului, A; t – timpul de trecere a curentului, s; η – randamentul de curent (raportul dintre cantitatea de material efectiv dizolvată şi cea teoretic dizolvată, %;

- *legea a doua*: la trecerea aceleiaşi cantități de electricitate prin soluții cu diferiți electroliți, cantitățile fiecăreia dintre substanțele expuse la transformări sunt proporționale cu echivalenții lor chimici:

$$\frac{K}{M} = 0{,}01036 \text{ sau } K = 0{,}01036 \cdot \frac{Ag}{\nu} \tag{2.2}$$

unde: Ag – greutatea atomică a argintului, g; ν – valența atomului din combinația moleculară; $Ag/\nu = M$ – echivalentul chimic al substanței, g/A·h.

Volumul de material erodat V:

$$V = \frac{I \cdot t}{96500} \cdot \eta \cdot \frac{A}{\nu} \cdot \frac{1}{\rho}, \text{ cm}^3 \tag{2.3}$$

unde: F = 96.500 – numărul lui Faraday, A·s; ρ – densitatea metalului, g/m^3; A – masa atomică a metalului supus erodării.

Productivitatea prelucrării este direct proporţională cu intensitatea curentului şi timpul de trecere a curentului şi invers proporţională cu densitatea materialului şi valenţa lui.

În procesul de prelucrare electrochimică, electrolitul îndeplineşte următoarele funcţiuni: asigură închiderea circuitului electric între electrodul-sculă şi piesă; înlătură microparticulele din zona de prelucrare; înlătură căldura produsă în procesul de lucru. Pentru aceasta, electrolitul trebuie să aibă următoarele calităţi: conductibilitate electrică foarte bună; toxicitate redusă; coroziune minimă; stabilitate chimică şi electrochimică.

Ca electroliţi se utilizează: soluţie de 30% NaCl şi KCl, 10% H_2SO_4, 5% NaOH, NaCl, $NaNO_3$.

La prelucrarea prin eroziune electrochimică, pe suprafaţa piesei de prelucrat se formează o *peliculă pasivă* care împiedică desfăşurarea în continuare a eroziunii. După modul cum se înlătură această peliculă, există mai multe metode de prelucrare prin eroziune electrochimică.

4.3.2. Eroziunea electrochimică naturală

Îndepărtarea produselor eroziunii se face cu ajutorul gazelor care se formează în procesul de prelucrare. Pe suprafaţa cu asperităţi a piesei de prelucrat se formează o peliculă vâscoasă cu grosime neregulată, mai mare în adâncituri, faţă de cea de la vârful asperităţilor (fig. 4.16). Dizolvarea metalului va începe în regiunea vârfurilor asperităţilor, datorită concentraţiei de câmp electric în această zonă. Procedeul se utilizează pentru operaţii de lustruire, decapare sau debavurare şi se realizează în cuve similare cu cele de la acoperirile galvanice, construite din metal şi căptuşite cu materiale plastice sau lemn, pentru a rezista la coroziune. Electrozii se confecţionează din materiale electroconducătoare (cupru electrolitic, grafit) şi se amplasează la o distanţă de 40...100 mm de piesa de prelucrat. Sursele de energie sunt generatoare de curent continuu cu U = 6…12 V şi I = 5…25 A/dm^2, pentru electroliţi reci şi 40…280 A/dm^2, pentru electroliţi calzi.

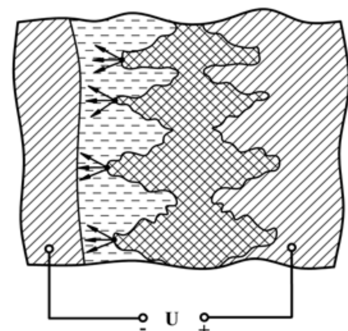


Fig. 4.16. Eroziunea electrochimică naturală.

Principalele aplicaţii ale metodei sunt prezentate în fig. 4.17: *a* – curăţarea de oxizi a pieselor turnate sau forjate (*1*,*2* – electrozi-sculă; *3* – piesă; *4* – electrolit; *5* – cuvă); *b* – netezirea electrochimică a suprafeţei unei piese (*1* – electrod-sculă; *2* – piesă; *3* – electrolit; *I* – avans transversal al electrodului-sculă); *c* – lustruirea suprafeţelor interioare ale ţevilor (*1* – electrod-sculă; *2* – piesă; *3* – cuvă cu electrolit; *4* – placă de sprijin izolantă); *d* – lustruirea benzilor şi sârmelor (*1* – bandă sau sârmă de lustruit; *2,3* – tamburi de înfăşurare-desfăşurare; *4* – baie de spălare; *5* – baie de degresare; *6* – baie de lustruire; *7* – electrod-sculă; *8* – baie de spălare finală; *9* – contact bucşă-anod).

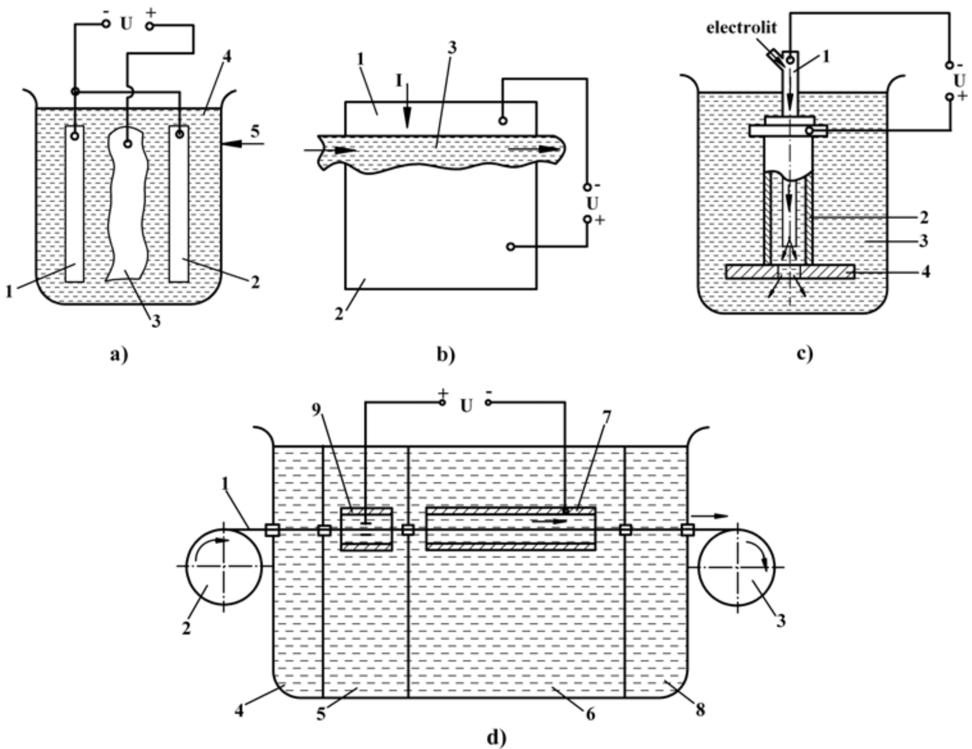


Fig.4.17. Aplicații ale eroziunii electrochimice naturale.

4.3.3. Eroziunea electrochimică hidrodinamică

Îndepărtarea peliculei pasive se face prin acțiunea mecanică a electrolitului introdus cu presiune ridicată (7…30 daN/cm^2) şi cu viteză mare (30…50 m/s) între electrodul-sculă şi piesă (fig. 4.18): *1* – sursă de curent continuu; *2* – regulator de avans; *3* – electrod-sculă; *4* – piesă; *5* – cuvă cu electrolit; *Rz* – rezervor cu dielectric; P_H – pompă hidraulică; *F* – filtru; *6* – instalație de răcire; *I, II* – mişcări ale electrodului-sculă. Electrozii-sculă se confecționează din oțel inoxidabil, alamă, bronz sau aliaje de aluminiu. Productivitatea prelucrării este proporțională cu intensitatea curentului, însă aceasta este limitată de încălzirea electrodului care nu trebuie să fie mai mare de 20…75 °C. Ca electroliți se utilizează soluții apoase de NaCl cu acid boric sau soluții apoase de fluoruri şi acid fluorhidric. Interstițiul de lucru este de 0,05…0,8 mm.

Principalele aplicații ale procesului sunt prezentate în fig. 4.19: *a* – prelucrarea suprafețelor plane (*1* – piesă; *2* – electrod-sculă; *3* – canale pentru electrolit; *I* – mişcarea electrodului-sculă); *b* – strunjire exterioară (*1* – piesă; *2* – electrod-sculă; *I* – mişcare principală de rotație a piesei; *II* – avans transversal al electrodului-sculă); *c* – găurire (*1* – piesă; *2* – electrod-sculă; *3* – inel pentru contact electric; *4* – izolator electric; *5* – capac pentru evacuarea electrolitului; *I,II* – mişcările electrodului-sculă); *d* – prelucrarea paletelor de turbine (*1* – piesă; *2,3,4,5*

– electrozi-sculă; *6* – cuvă cu electrolit; *I…IV* – mişcările electrozilor-sculă).

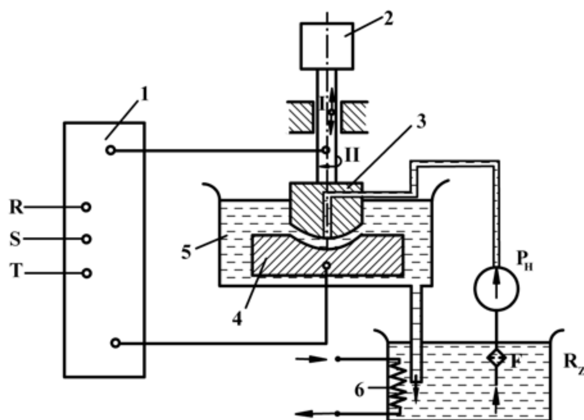


Fig. 4.18. Schema de principiu a prelucrării prin eroziune electrochimică hidrodinamică.

Fig.4.19 Aplicaţii ale eroziunii electrochimice hidrodinamice.

4.3.4. Eroziunea electrochimică abrazivă

Procedeul de prelucrare electrochimică abrazivă se bazează pe desfăşurarea simultană a unei prelucrări electrochimice cu depasivizarea mecanică forțată prin intermediul unei scule abrazive (fig. 4.20): *1* – electrod-sculă cu granule abrazive; *2* – piesă; *3* – electrolit; *4* – peliculă anodică; *I, II* – mişcările electrodului-sculă.

Prin acest procedeu se obțin productivități foarte bune (până la 500 mm^3/min) şi o rugozitate foarte bună a suprafețelor prelucrate (R_a = 0,05…0,2 μm). Mişcarea *I* se realizează cu viteze de 20...30 m/s.

Principalele domenii de aplicare a metodei sunt prezentate în fig. 4.21: *a* – ascuțirea sculelor aşchietoare; *b* – rectificare; *c* – honuire.

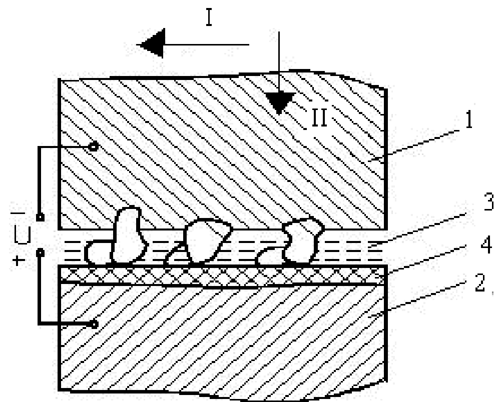


Fig. 4.20. Schema de principiu a eroziunii electrochimice abrazive.

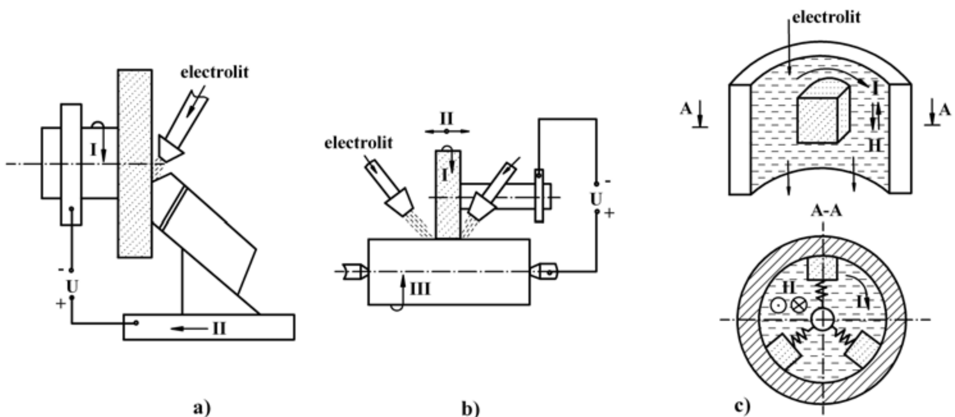


Fig. 4.21. Aplicații ale eroziunii electrochimice abrazive.

4.4. Prelucrarea prin eroziune chimică

Prelucrarea prin eroziune chimică se bazează pe atacul suprafeței de prelucrat cu o substanță chimică activă. Operația se realizează prin introducerea piesei de prelucrat în soluții speciale, îndeosebi în soluții sodice. Compoziția acestora se alege în funcție de natura metalului de prelucrat şi de cantitatea de material care se îndepărtează în unitatea de timp. Randamentul prelucrării este influențat de compoziția chimică a electrolitului, temperatura băii, compoziția

chimică a obiectului supus eroziunii şi în special de structura cristalină a acestuia, având în vedere că atacul se produce la limita de separare a cristalelor.

Procedeul se aplică îndeosebi la prelucrarea prin gravare a tablelor, benzilor şi profilurilor, la găurirea unor piese din metale şi aliaje dure, la executarea unor canale cu aplicaţii în industria electronică la circuitele imprimate, precum şi la confecţionarea unor grile sau filtre fine. Precizia de prelucrare este condiţionată de oprirea la timp a eroziunii chimice.

Tehnologia de prelucrare prin eroziune chimică se poate realiza pe întreaga suprafaţă a piesei, când se fac operaţii de lustruire, polizare sau decapare sau numai pe anumite zone ale piesei. În al doilea caz, se realizează acoperirea zonelor care nu sunt supse prelucrării cu o masă din material plastic rezistent la agenţii corosivi. În ambele cazuri, suprafeţele de prelucrat trebuie bine curăţate cu perii de sârmă sau cu discuri abrazive şi decapate cu solvenţi organici, după care se spală cu jet puternic de apă. Se apreciază că suprafaţa este bine pregătită dacă prin introducerea şi scoaterea piesei din apă, pe suprafaţa pregătită rămâne un film continuu şi uniform de apă.

Ca soluţii de atac se utilizează: clorură ferică, H_2SO_4, HCl, HNO_3, acid fluorhidric, acid cromic, clorură cuprică sau combinaţii ale acestora. Se pot astfel prelucra piese din Al şi aliaje de Al, Pb, Ge, oţeluri-carbon şi inoxidabile, Cu şi aliaje din Cu, Cr, Ni şi aliaje din Ni, Si, Zn, Sn.

În fig.4.22 se prezintă un exemplu de prelucrare prin eroziune chimică.

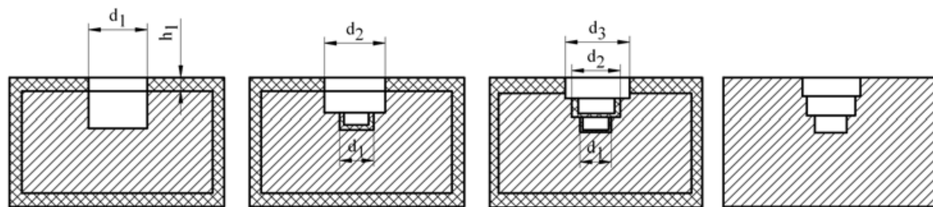


Fig.4.22. Prelucrare prin eroziune chimică.

4.5. Prelucrarea prin eroziune electrică şi electrochimică

4.5.1. Generalităţi

Prelucrarea prin eroziune electrică se face cu o productivitate mică şi cu o precizie dimensională şi o calitate a suprafeţei foarte bune, iar prelucrarea prin eroziune electrochimică are o productivitate mare, o precizie dimensională şi o calitate a suprafeţei mai slabe. Ca urmare, ar trebui combinate cele două procedee, dar primul utilizează un lichid dielectric, iar al doilea un lichid electroconducător. Prin utilizarea unui lichid semidielectric se face un compromis tehnic între cele două procedee care generează procedeul complex de eroziune electrică şi electrochimică, numit şi *procedeu anodo-mecanic*, a cărui schemă de principiu este prezentată în fig. 4.23: *1* – electrod-sculă; *2* – piesă de prelucrat; *3* – mediu de lucru; *4* – microasperitate; *5* – peliculă pasivă; *6* – particulă erodată din electrodul-

sculă; *7* – descărcare electrică prin impulsuri nedirijate; *8* – volum de material erodat electric din piesa de prelucrat; *I*, *II* – mişcări executate de electrodul-sculă.

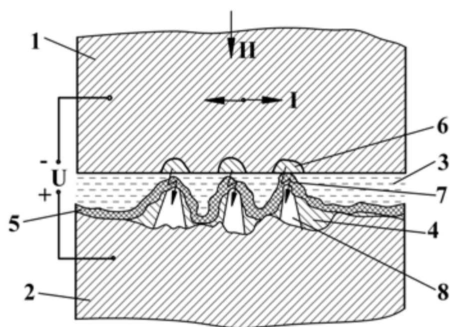


Fig. 4.23. Schema de principiu a prelucrării prin eroziune electrică şi electrochimică.

Eroziunea materialului din piesa de prelucrat se bazează pe acțiunea electrochimică (dizolvarea anodică), acțiunea electroerozivă datorată descărcărilor electrice prin impulsuri nedirijate, acțiunea termică prin efect Joule-Lenz la contactul electrodului-sculă cu microasperitățile piesei şi acțiunea mecanică de îndepărtare a particulelor de material. După modul de alegere a parametrilor electrici poate predomina fie procedeul electrochimic, fie procedeul electroeroziv.

Dacă puterea specifică introdusă în spațiul de lucru este mică, predomină eroziunea electrochimică, iar dacă puterea specifică este mare, predomină eroziunea electrică.

Ca lichide de lucru se folosesc soluțiile coloidale de silicat de sodiu sau silicat de aluminiu şi suspensii de caolin în apă.

Electrozii-sculă au forme geometrice corespunzătoare cu forma geometrică a suprafeței ce trebuie generată şi se confecționează din fontă, oțel, cupru şi aliaje de cupru.

4.5.2. Operații de prelucrare prin eroziune electrică şi electrochimică

Schemele de lucru ale maşinilor de prelucrare prin eroziune electrică şi electrochimică sunt prezentate în fig. 4.24: *a* – debitare cu disc; *b* – debitare cu bandă; *c* – ascuțirea sculelor aşchietoare; *d* – rectificare plană; *e* – rectificarea suprafețelor profilate; *f* – netezirea ghidajelor; *g* – decupare după contur cu electrod filiform.

4.5.3. Maşini de prelucrat prin eroziune electrică şi electrochimică

4.5.3.1. Maşina de debitat cu electrod-disc (fig. 4.25) este formată din placa de bază *1* pe care se află batiul *2* cu sania portsculă *3*. Mişcarea motorului de curent alternativ *M* este transmisă arborelui principal prin mecanismul de reglare cu conuri în trepte *4*. Pe arborele portsculă, care execută mişcarea principală de rotație *I*, se montează electrodul-disc *5*, aflat în cuva cu lichid de lucru *6*. Electrodul-disc execută avansurile vertical *II* şi transversal *III*.

Pe această maşină se pot face tăieturi multiple pentru piese de tip pieptene sau se pot confecționa bucşe elastice.

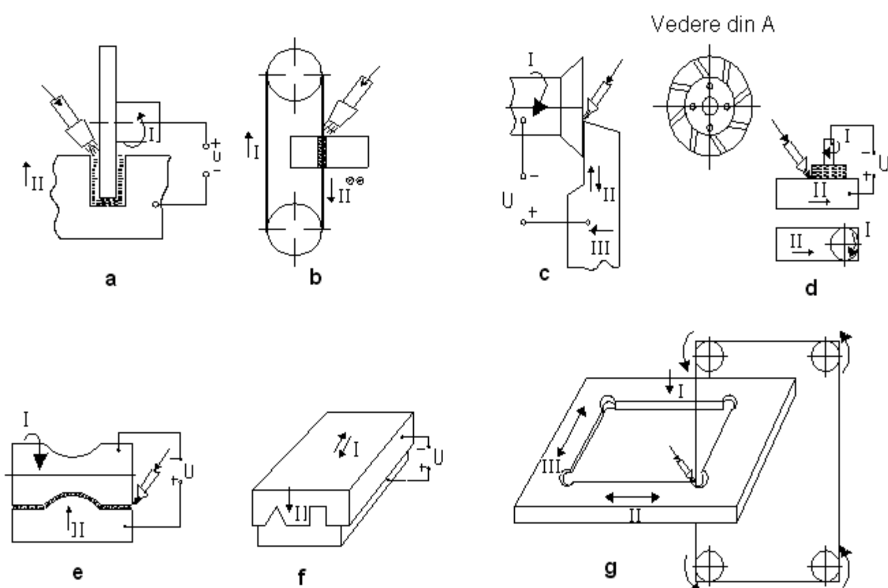


Fig. 4.24. Schemele de lucru ale maşinilor de prelucrare prin eroziune electrică şi electrochimică.

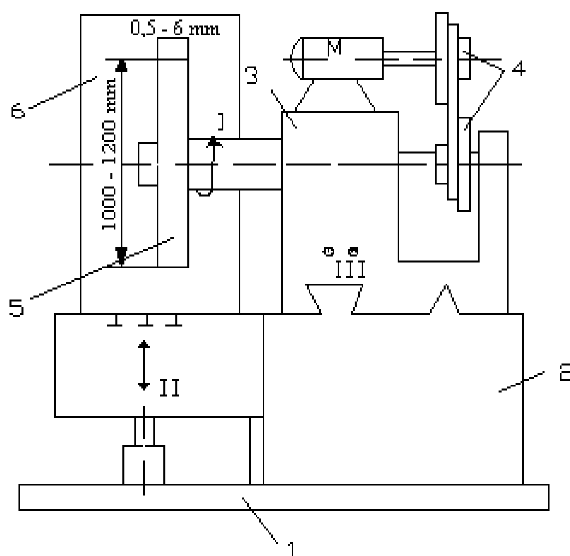


Fig. 4.25. Maşina de debitat cu electrod-disc.

4.5.3.2. Maşina de găurit (fig. 4.26) este alcătuită din placa de bază *1* pe care se află batiul *2* cu capul de găurit *3*. Electrodul-sculă *4* execută atât mişcarea principală de rotație *I*, cât şi avansul vertical *II*. Piesa 5 şi suportul acesteia 6 se află în cuva cu lichidul de lucru *7*, montată pe masa maşinii *8*, care execută mişcarea de poziționare *III*. Lichidul de lucru este aspirat din rezervorul *Rz* de către pompa

hidraulică P_H şi apoi trimis în cuvă prin duza *D*. După utilizare electrolitul se scurge liber în rezervorul *Rz*.

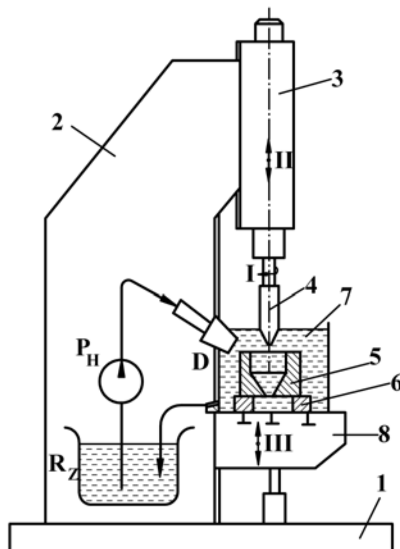


Fig. 4.26. Maşina de găurit.

4.6. Prelucrarea prin eroziune cu plasmă

4.6.1. Generalități

Plasma este o substanță aflată într-o stare de agregare asemănătoare celei gazoase, puternic sau complet ionizată, alcătuită dintr-un amestec de molecule, ioni şi electroni. Are o bună conductibilitate electrică, o temperatură ridicată şi emite radiații electromagnetice şi lumină. Se consideră că peste 99% din materia Universului se prezintă sub formă de plasmă. În apropierea Pământului există plasmă sub formă de vânt solar (flux de protoni şi neutroni emis continuu de Soare). Temperatura plasmei variază în limite foarte largi, începând de la temperatura mediului ambiant (plasma din tuburile cu descărcări în gaze rarefiate), până la milioane de grade (plasma nucleară).

În construcția de maşini se foloseşte plasma apărută ca urmare a descompunerii atomilor unor gaze în electroni şi ioni, sub acțiunea temperaturilor înalte, numită plasmă termică. Ea apare cu precădere într-un arc electric şi are temperaturi de 6.000…30.000 °C, realizându-se cu un generator numit *plasmotron* (fig. 4.27). Arcul electric produs între electrodul *1* şi duza răcită cu apă *2* este comprimat de către duză, astfel că avem o creştere a densității de curent în zona centrală a arcului. Stratul tubular de gaz mai rece al coloanei de plasmă din zona duzei se comportă ca un ecran termic şi electric, asigurând menținerea unei temperaturi foarte ridicate în zona centrală.

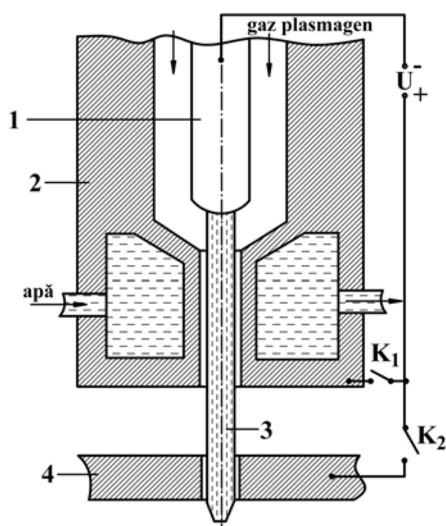


Fig. 4.27. Schema de principiu a plasmotronului.

Gazul plasmogen trebuie să asigure protecţia electrodului la oxidare, fiind neutru în raport cu materialul electrodului (W, grafit, zirconiu, hafniu). Această condiţie este îndeplinită în cea mai mare parte de gazele inerte monoatomice (Ar, He). S-ar putea utiliza şi unele gaze biatomice (N_2, H_2) care ar asigura transferul unei cantităţi mai mari de căldură, dar acestea nu sunt pure, conţinând urme de oxigen care favorizează oxidarea şi uzarea rapidă a electrodului.

După modul realizării arcului electric, avem două variante de plasmotroane:

- *cu arc de plasmă*, când arcul *3* se produce între electrodul *1* şi piesa *4* (K_1 – deschis, K_2 – închis), piesa fiind electroconducătoare;

- *cu jet de plasmă*, când arcul electric *3* se produce între electrod şi duza răcită cu apă (K_1 – închis, K_2 – deschis), piesa fiind rea conducătoare de electricitate, iar plasma este suflată în exterior de presiunea gazului, sub formă de jet.

Ca surse de alimentare cu curent continuu se utilizează convertizoare cu puteri de 1…100 kW sau redresoare speciale, iar alimentarea cu gaz plasmogen se face de la butelii de presiune înaltă prevăzute cu regulatoare de presiune sau cu ajutorul unor pompe speciale.

4.6.2. Aplicaţii tehnologice ale prelucrării cu plasmă

4.6.2.1.Tăierea metalelor cu arc de plasmă. Schema de principiu a unei instalaţii de tăiere cu plasmă este reprezentată în fig. 4.28. Plasmotronul *1* este alimentat cu energie electrică de la sursa *2*, al cărei pol negativ este legat la electrodul neconsumabil de wolfram *3*, izolat electric faţă de corpul plasmotronului. Gazul plasmogen (Ar, Ar + H_2, Ar + N_2, N_2, Ar + aer), al cărui debit se reglează cu robinetul *4* şi se măsoară cu aparatul *5*, se introduce în plasmotron şi pătrunzând în spaţiul arcului electric *6*, dă naştere plasmei.

În cazul funcţionării în regim cu jet de plasmă, polul pozitiv al sursei de curent se leagă la corpul plasmotronului, prin stabilirea unui contact electric între punctele *a* şi *b*, piesa de tăiat *7* nefiind legată la sursa *2*. Pentru amorsarea arcului se utilizează oscilatorul de ionizare *8*. Curentul se limitează, la început, la 10…15 A, cu ajutorul rezistenţei *9*. Pentru funcţionarea în regim cu arc de plasmă se întrerupe contactul electric între punctele *a* şi *b* şi acesta se stabileşte între punctele *a* şi *c*, piesa de tăiat fiind astfel legată la polul pozitiv al sursei.

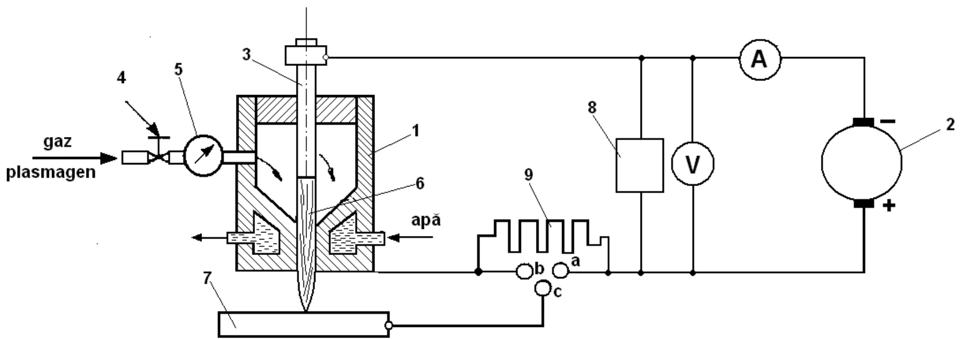


Fig. 4.28. Tăierea cu plasmă.

Tăierea cu plasmă prezintă următoarele avantaje: productivitate ridicată, posibilitatea tăierii tuturor materialelor metalice, obținerea unor tăieturi înguste şi cu suprafețe curate. De asemenea, prin acest procedeu se pot tăia şi materiale nemetalice. Se realizează viteze de tăiere de 250…1250 mm/min şi se pot tăia materiale metalice cu grosimi până la 120 mm. Procedeul este recomandat îndeosebi în cazul materialelor metalice care nu se pot tăia cu flacăra oxigaz: oțeluri inoxidabile, Al, Cu, Mg şi aliajele lor.

4.6.2.2. Prelucrările prin aşchiere cu încălzire limitată cu jet de plasmă se aplică la strunjire, frezare şi rabotare.

a) – Strunjirea cilindrică exterioară (fig. 4.29) se poate aplica la piese dure (HRC = 50…60), conducând la productivități de 10…15 ori mai mari ca în cazul aşchierii la rece, precum şi la creşteri de 2…10 ori a durabilității sculelor.

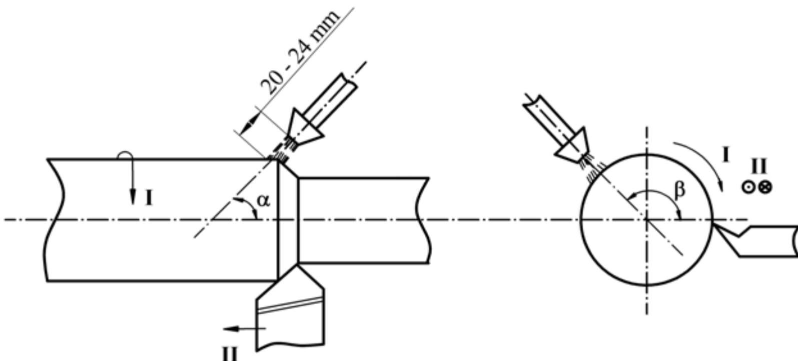


Fig. 4.29. Strunjirea cu plasmă.

Materialul de aşchiat este încălzit în zona din fața tăişului cuțitului, ceea ce conduce la micşorarea considerabilă a rezistenței sale la rupere. Unghiul $\alpha = 90°$ – pentru piese cu grosime mare şi $\alpha < 90°$ – pentru piese de diametre mici. Pentru a evita eventualele contacte dintre aşchiile degajate în timpul aşchierii şi duza plasmotronului, aceasta se va înclina cu unghiul β.

b) – Frezarea (fig. 4.30) sau ***rabotarea*** (fig. 4.31) se aplică de asemenea în cazul materialelor dure, pentru creşterea productivităţii aşchierii şi a durabilităţii sculelor.

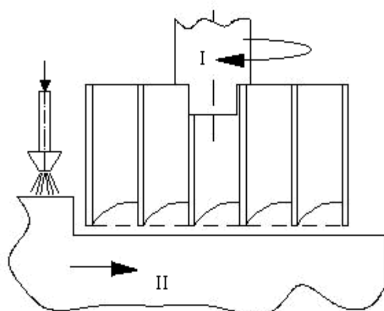


Fig. 4.30. Frezarea cu plasmă.

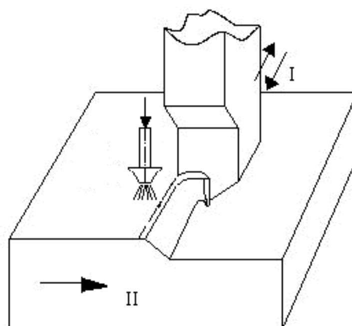


Fig. 4.31. Rabotarea cu plasmă.

În toate cazurile, sculele aşchietoare utilizate sunt armate cu plăcuţe dure din carburi metalice sau materiale mineralo-ceramice.

4.6.2.3. Metalizarea cu plasmă se utilizează cu rezultate foarte bune la depunerea unor straturi omogene din materiale refractare, cu temperaturi de topire în jur de 3.000 °C: Mo, oxizi de Al şi Zn, zirconat de Ca şi Mg, carburi, nitruri şi boruri. Schema de principiu este prezentată în fig. 4.32, unde: *1* – plasmotron; *2* – piesă de metalizat; *3* – siloz cu pulbere; *4* – strat depus prin metalizare; *5* – atmosferă protectoare de gaz inert.

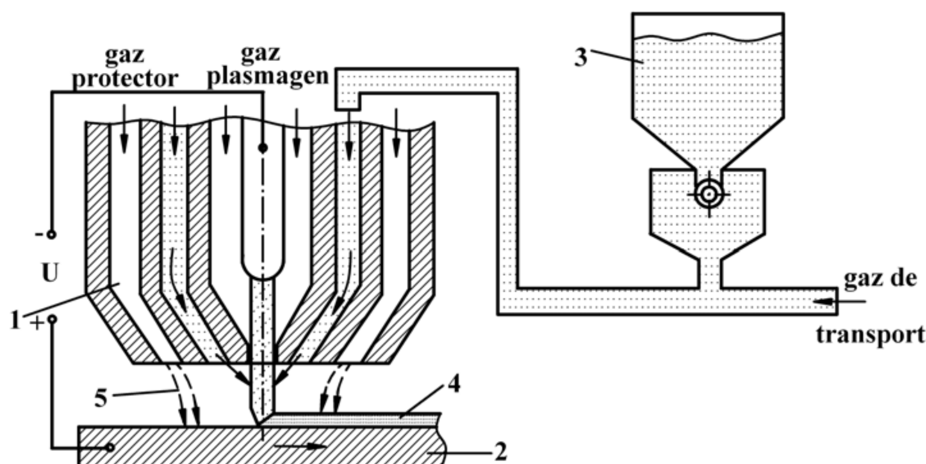


Fig. 4.32. Metalizarea cu plasmă.

Avantaje: stratul depus nu prezintă impurităţi datorită atmosferei de gaze protectoare; cantitatea de căldură primită de materialul de bază este foarte mică; stratul depus este dens şi prezintă o aderenţă foarte bună la materialul de bază.

4.6.2.4. Sudarea cu plasmă. Sudarea cu plasmă prezintă următoarele

avantaje: viteză de sudare mare şi productivitate ridicată; pregătirea pieselor este puțin pretențioasă; zona influențată termic este redusă; calitatea sudurii este foarte bună. Dezavantajul procedeului constă în costul ridicat al instalațiilor.

Pentru sudare se foloseşte plasmă cu temperaturi de 6.000...30.000 °C, obținută în plasmotron (fig. 4.33). Între electrodul nefuzibil din wolfram *1*, care constituie catodul şi ajutajul plasmotronului *2*, care este anodul, se produce un arc electric. Prin canalul *3* se insuflă un gaz monoatomic (Ar, He) sau biatomic (H_2, N_2) sau un amestec din aceste gaze şi prin dezvelirea atomilor acestor gaze de electroni se produce jetul de plasmă *4*, care determină topirea marginilor pieselor *5* şi formarea băii metalice *6*. Metalul topit nu este îndepărtat, ca la tăiere, ci împins lateral şi în spate, întrucât presiunea gazului plasmogen este mică. Pe măsura deplasării jetului de plasmă în sensul de sudare, cu viteza v_s, baia metalică se solidifică, formând cusătura *7*. Debitul gazului plasmogen este insuficient pentru a asigura protecția băii metalice şi, de aceea, prin orificiul inelar *8* al plasmotronului, se insuflă gaz inert, cu un debit mult mai mare. Sursa de energie este în curent continuu, pentru a avea o stabilitate bună a arcului.

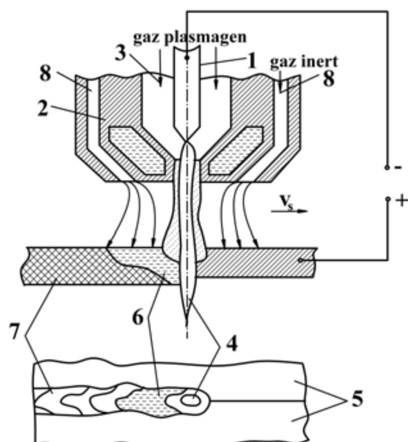


Fig. 4.33. Sudarea cu plasmă.

4.7. Prelucrarea prin eroziune cu radiații

4.7.1. Prelucrarea cu fascicul de electroni

Procedeul se bazează pe fenomenul de emisie termoelectronică, adică pe proprietatea unui catod încălzit de a emite un flux de electroni. Fasciculul de electroni cu densitate şi energie cinetică mare este accelerat şi focalizat asupra piesei de prelucrat într-un spațiu vidat. Energia fluxului se calculează cu relația:

$$E = n \cdot e \cdot U = n \cdot \frac{m \cdot v^2}{2},\ \ J \qquad (2.4)$$

unde: n – numărul electronilor; e = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$, C – sarcina electrică a unui electron; U – tensiunea de accelerare, V; m = $9{,}19 \cdot 10^{-31}$, kg – masa unui electron; v – viteza de accelerare a electronilor, km/s.

Energia cinetică a fluxului se transformă în căldură, la impactul electronilor cu piesa, conform schemei de principiu din fig. 4.34: *a* – formarea sursei termice; *b* – formarea craterului de eroziune; *c* – repetarea impulsului; *1* – fascicul de electroni; *2* – piesă; *3* – strat de material transparent pentru electroni; *4* – crater de

eroziune; *5* – zonă lichidă; *6* – zonă solidificată.

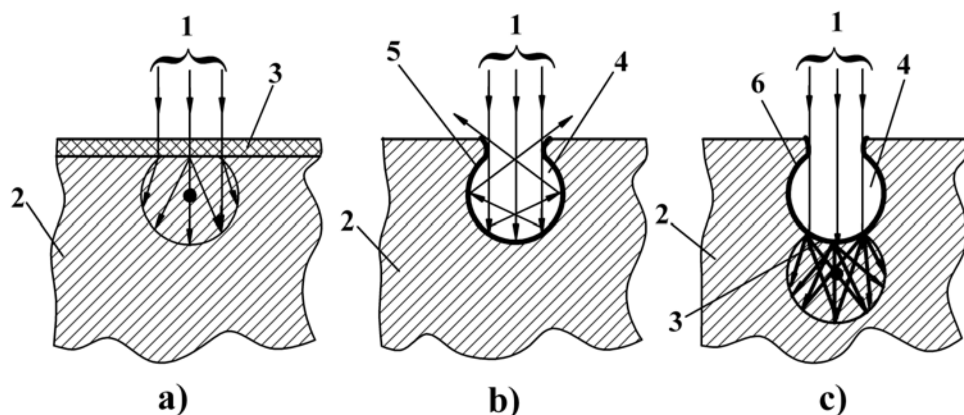


Fig. 4.34. Schema de principiu a prelucrării cu fascicul de electroni.

Electronii pătrund prin stratul superficial şi ajung până la o anumită adâncime, unde energia lor cinetică se transformă în căldură, temperatura fiind de circa 6.000 °C. Materialul este vaporizat, formându-se un crater din care este expulzat în exterior, după care operația se repetă. Fasciculul de electroni este transmis sub formă de impulsuri cu durata de 10^{-6}...10^{-4} s şi cu frecvența de 10^{2}...10^{4} Hz.

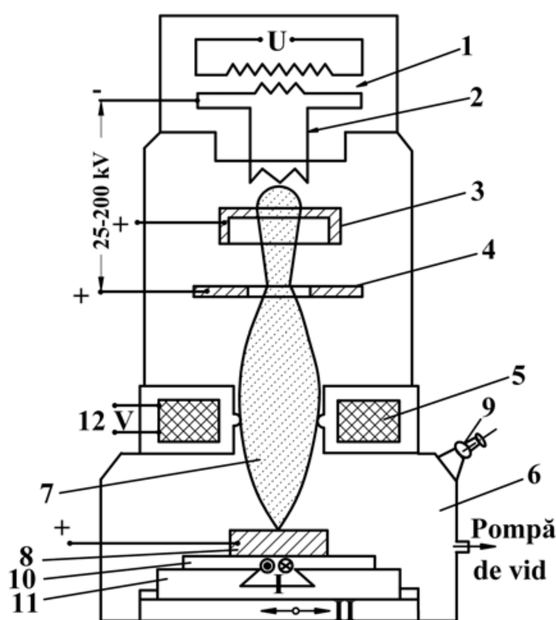


Fig. 4.35. Instalație de prelucrare cu fascicul de electroni.

O instalație de prelucrare cu fascicul de electroni este prezentată în fig. 4.35: *1* – transformator coborâtor de tensiune; *2* – catod din W sau Ta, încălzit la 2.300 °C; *3* – grilă anodică; *4* – anod; *5* – bobine de focalizare; *6* – incintă vidată; *7* – fascicul de electroni; *8* – piesă; *9* – dispozitiv binocular de urmărire şi control; *10*, *11* – sănii pentru deplasarea piesei în coordonate rectangulare (mişcările *I* şi *II*). Instalația se mai numeşte *tun electronic*. Vidul este destul de înaintat (10^{-2}...10^{-3} daN/cm^{2}), pentru evitarea ciocnirii electronilor de moleculele de aer şi posibilitatea focalizării lor.

Prelucrarea cu fasciculul de electroni are următoarele

aplicații:

a) – Sudarea. Se obțin suduri pe adâncime mare şi lățime mică, raportul dintre lățime şi adâncime ajungând la 1/40. Se pot suda materiale cu puncte de fuziune ridicate sau incompatibile între ele (W-Cu). Viteza de sudare este ridicată, ajungând până la 15 m/min. Zona influențată termic este mică. Sudarea se face fără material de adaos şi fără mediu protector, calitatea cusăturii fiind foarte bună.

Procedeul se aplică la confecționarea sculelor aşchietoare (sudarea capului de corpul sculei), în tehnica aerospațială, la reactoarele nucleare, în micro-electronică şi electrotehnică şi la sudarea sub apă.

b) – Găurirea se aplică materialelor dure şi extradure: corund sintetic, rubine, safire, materiale refractare, sticlă, materiale ceramice, semiconductoare sau chiar materiale plastice care intră în componența filtrelor. Prin găurire se obțin găuri de diametre foarte mici (până la 25...50 μm), fante înguste şi foarte înguste şi filtre foarte fine (până la 70.000 orificii cu diametre de 2 $\mu m/cm^2$) (fig. 4.36).

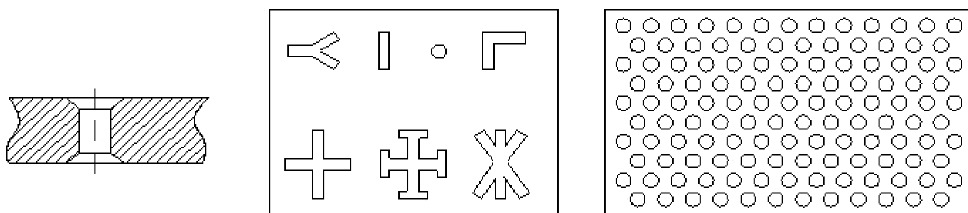


Fig. 4.36. Exemple de găuri prelucrate cu fascicul de electroni.

c) – Topirea se aplică materialelor refractare (Ta, W, Ti) precum şi la obținerea unor oțeluri speciale utilizate în industria aerospațială şi nuclearoelectrică (fig. 4.37): *1* – catod termoemisiv circular; *2* – anod; *3* – izolatoare electrice; *4* – bobine de focalizare; *5* – fascicule de electroni; *6* – electrod consumabil; *7* – cristalizator din cupru cromat cu pereții dubli răciți cu apă; *8* – bară de metal rafinat; *9* – cameră vidată.

4.7.2. Prelucrarea cu fascicul de ioni

Prelucrarea cu fascicul de ioni se bazează pe fenomenul emisiei de electroni de către un catod încălzit care ionizează moleculele unui gaz monoatomic (Ar, He, Xe), ionii astfel obținuți fiind puternic accelerați de către un câmp electric. Schema de principiu a procedeului este prezentată în fig. 4.38. Conform schemei, ionul accelerat pătrunde în piesă până ciocneşte un atom.

Dacă energia ionului este destul de mare, atomul lovit ciocneşte la rândul său alt atom, având loc un lanț de ciocniri care proiectează la suprafața piesei mai mulți atomi, sub formă de material evaporat, având loc prelevarea unei anumite cantități de material din piesă. În acelaşi timp, ionul incident accelerat parcurge o nouă distanță în piesă, producând evaporarea altor atomi ai piesei.

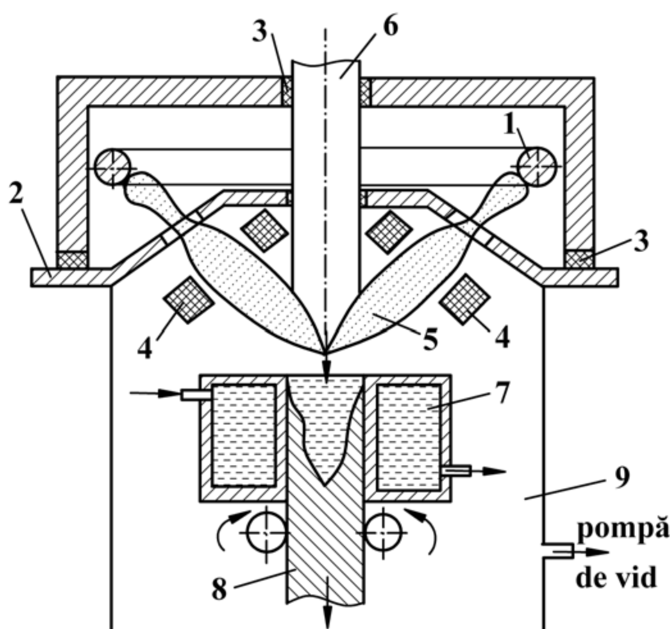


Fig. 4.37. Topirea cu fascicul de electroni.

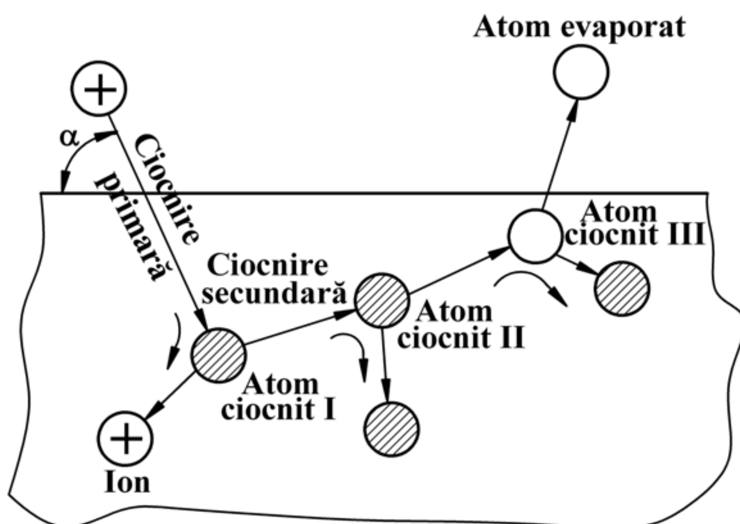


Fig. 4.38. Schema de principiu a prelucrării cu fascicul de ioni.

Randamentul maxim de pulverizare se realizează când unghiul de incidenţă α = 10…50°. La valori mari ai unghiului de incidenţă, o bună parte din ionii acceleraţi este reflectată de suprafaţa piesei şi nu mai participă la procesul de excitare a atomilor din material.

Procedeul s-a dovedit a fi deosebit de eficient la prelucrarea materialelor

dure şi extradure: carburi metalice, oțeluri refractare, oțeluri inoxidabile şi înalt aliate. Cu ajutorul acestui procedeu se pot realiza microsuduri de mare finețe, debitări, găuriri şi frezări. Pentru fiecare din aceste prelucrări s-au realizat instalații specifice.

Domeniul în care fasciculul de ioni şi-a găsit cea mai mare aplicabilitate este *placarea ionică,* adică depunerea de straturi subțiri de material, cu proprietăți speciale, pe un metal de bază. Schema de principiu a instalației, numită şi *tun ionic*, este prezentată în fig. 4.39.

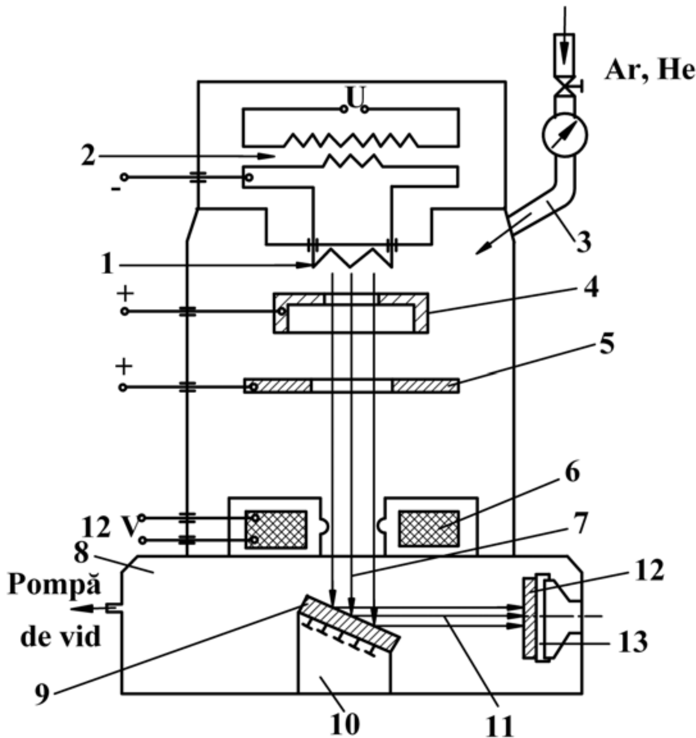


Fig. 4.39. Instalație de placare ionică.

Catodul *1*, din wolfram sau tantal, legat la secundarul transformatorului coborâtor de tensiune *2*, se încălzeşte la 2.300 °C şi emite electroni care ionizează moleculele unui gaz monoatomic (Ar, He, Xe), introdus prin conducta cu reductor şi manometru *3*. Fluxul de ioni este accelerat de grila anodică *4* şi anodul *5* şi focalizat şi deflectat cu bobinele electromagnetice *6*. Fasciculul de ioni *7* pătrunde în camera de bombardare *8*, cuplată la o pompă de vid, şi acționează asupra plăcii cu material de depunere *9*, aşezată pe suportul *10*, smulgând atomii *11* care se depun pe piesa *12*, prinsă pe suportul *13*. Piesa de placat *12* trebuie bine decapată înainte de placarea ionică.

Datorită adezivității deosebite a materialului depus şi posibilității de a

acoperi suprafețe complexe, placarea ionică s-a dovedit utilă în următoarele domenii: protecția suprafețelor metalice împotriva oxidării şi coroziunii; realizarea contactelor electrice argintate; lubrificație solidă prin acoperiri cu aliaje anti-fricțiune, obținerea unor suprafețe reflectorizante prin depuneri de argint pe oțel; placarea pieselor pentru creşterea durității şi a rezistenței la uzură; obținerea circuitelor integrate.

4.7.3. Prelucrarea cu fascicul de fotoni (cu laser)

4.7.3.1. Generalități. Unul din cele mai noi procedee utilizate în construcțiile de maşini, electrotehnică, electronică, mecanică fină, aeronautică şi comunicații este cel cunoscut sub denumirea de *LASER* (*L*ight *A*mplification by *S*timulated *E*mission of *R*adiation = Amplificarea luminii prin stimularea emisiei de radiații). Explicația fenomenelor care conduc la emisiunea laser se bazează pe teoria mecanicii cuantice a lui Max Planck (1858 – 1947) care arată că punerea în libertate şi absorția de energie radiantă se produc în mod discontinuu în anumite cantități numite *cuante de energie*.

Dacă un atom primeşte o rază de lumină, considerată ca fiind constituită din particule elementare cu o anumită cantitate de energie, numite *fotoni*, electronii atomului absorb câte un foton şi işi măresc astfel cantitatea de energie. Această creştere face ca un astfel de electron să treacă de pe orbita staționară din jurul nucleului, corespunzătoare nivelului energetic fundamental, pe o altă orbită mai îndepărtată, corespunzătoare unui alt nivel energetic, atomul situându-se într-o stare nouă, numită stare excitată (fig. 4.40.a, b).

Starea excitată se caracterizează prin instabilitate şi electronii revin pe orbita intermediară, cedând o parte din energia câştigată în momentul excitației (fig. 4.40.c). În final, electronii revin pe orbita staționară (fig 4.40.d), cedând şi restul de energie, sub formă de fotoni. Trebuie menționat că pentru obținerea emisiunii laser, toți fotonii emişi de electroni la revenirea lor pe orbita staționară trebuie să aibă aceeaşi frecvență sau aceeaşi culoare. Deci, trecerea atomilor de pe orbite mai îndepărtate pe orbita staționară a atomului determină o emisiune stimulată de fotoni, aceasta fiind schema de principiu a laserului (fig. 4.40.e).

Fenomenul laser se produce în mod eficient dacă are loc într-un spațiu numit *rezonator optic* (fig. 4.41). Instalația este formată din camera cu mediu activ *1*, mărginită de oglinda cu reflexie totală *2* şi oglinda semitransparentă *3*. Sub acțiunea pompajului optic, mediul activ (solid, lichid sau gazos) va produce o emisie de fotoni care se va amplifica prin oscilarea între cele două oglinzi reflectorizante. Datorită timpului scurt în care se produce emisiunea stimulată şi amplificarea (10^{-6} s) şi posibilității de a fi condus, concentrat şi focalizat, fasciculul laser poate ajunge la densități de putere de 10^{10} W/cm^2 şi la temperaturi de 18.000 °C care topesc şi vaporizează orice material existent.

Forma oglinzilor de capăt ale rezonatorului poate fi plană, sferică sau prismatică, iar mediile active pot fi solide (rubin sintetic impurificat cu crom), semiconductoare (GaAs, InP), lichide (soluție de EuB_3 în alcool) sau gazoase

(He-Ne, Ne-O_2, Hg-Ne).

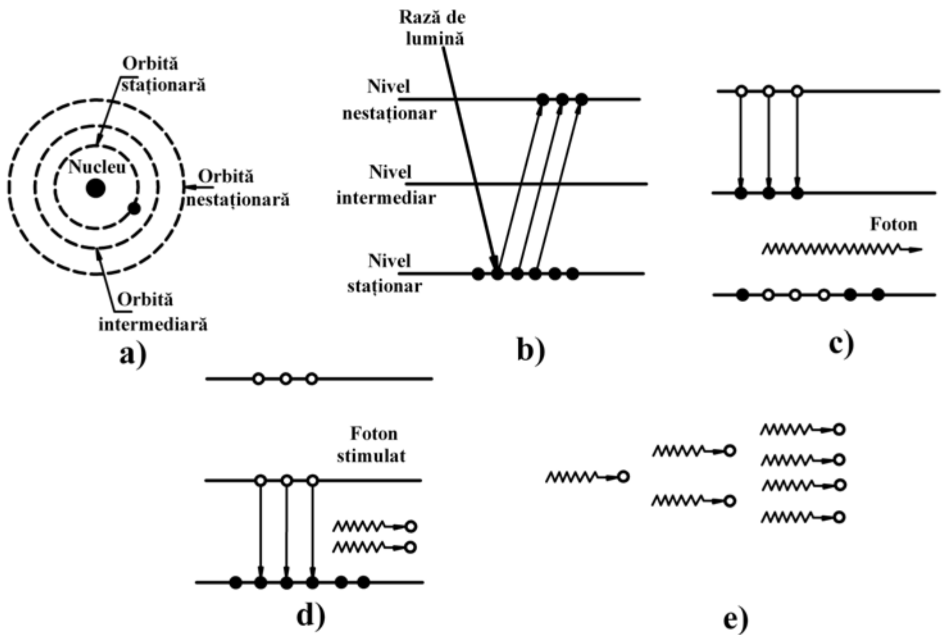


Fig. 4.40. Schema de principiu a laserului.

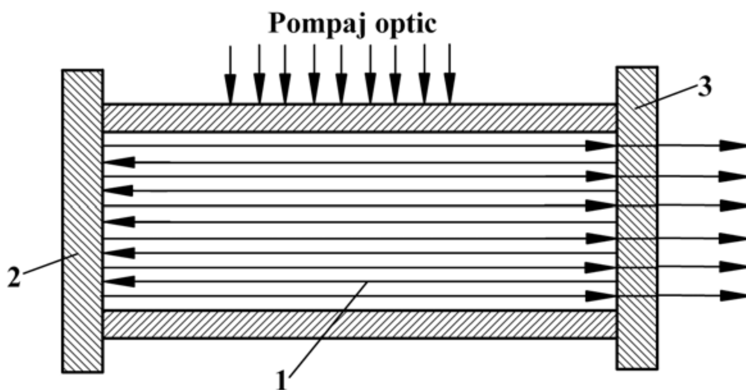


Fig. 4.41. Schema generării fasciculului laser.

4.7.3.2. Instalațiile de prelucrare cu laser se utilizează la sudare, tăiere şi găurire.

a) – Sudarea cu laser (fig. 4.42) se realizează cu o instalație formată din sursa de alimentare cu energie electrică *1* care poate fi o baterie de condesatoare, un redresor sau un generator de curent continuu sau alternativ, sursa de excitație optică *2* care este, de obicei, o lampă cu descărcări în gaze şi camera de rezonanță *3*

care conține mediul activ solid. Lampa de excitație şi camera de rezonanță sunt montate în carcasa reflectorizantă *4*. Din camera de rezonanță, fasciculul laser *5* trece prin obturatorul de siguranță *6* şi lentila de focalizare *7*, ajungând la piesele de sudat *8*. Pentru protecția băii metalice, prin duza *9* se insuflă un gaz inert care produce atmosfera protectoare *10*.

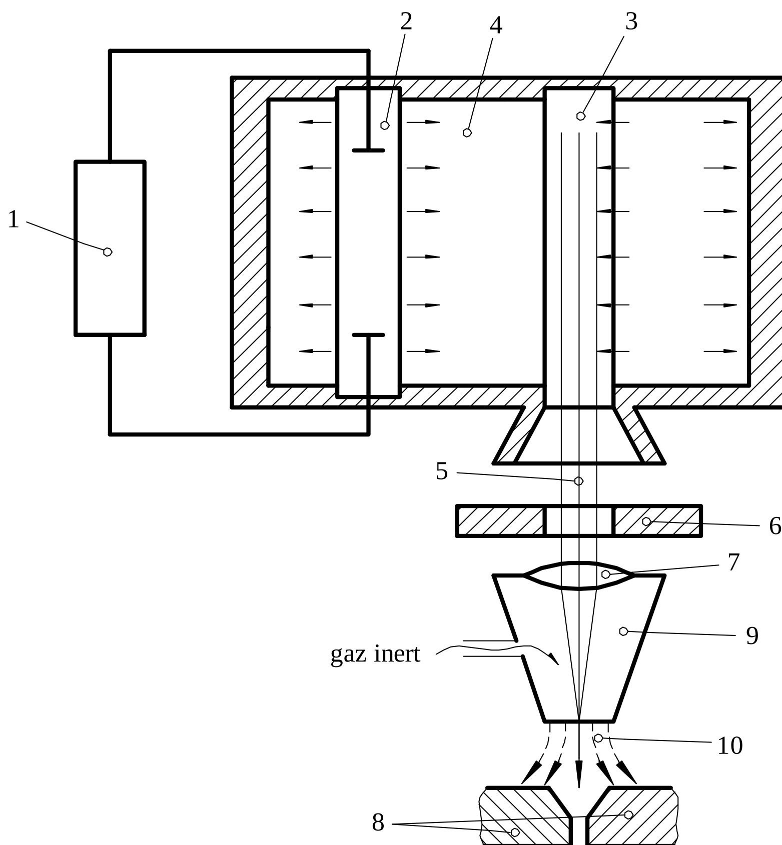


Fig. 4.42. Sudarea cu laser.

Fasciculul laser poate fi sub formă de impulsuri sau continuu, obținându-se o sudură de foarte bună calitate.

b) – Tăierea cu laser (fig. 4.43) este o aplicație foarte răspândită în industrie, datorită realizării unor tăieturi foarte fine în materiale dure şi fragile. Pentru îndepărtarea produselor tăierii cu mai multă uşurință, tăierea se face cu jet de oxigen, în cazul materialelor metalice sau cu jet de gaz inert, în cazul materialelor fragile (sticlă, ceramică) sau inflamabile (hârtie, țesături, materiale plastice, piele). Sursa de curent *1* alimentează o lampă cu descărcări în gaze, aflată în rezonatorul optic *2*, mărginit de oglinda de reflexie totală *3* şi oglinda semitransparentă *4*. Fasciculul laser *5* trece prin opturatorul de siguranță *6*, este deviat de

oglinda de deflexie *7* răcită cu apă şi este focalizat cu lentila *8* pe suprafața piesei de tăiat *9*, aşezată pe masa de uzinaj fotonic *10*. Prin duza *11* se insuflă oxigen sau un gaz inert. Temperatura în punctul de focalizare este de până la 20.000 ^{0}C.

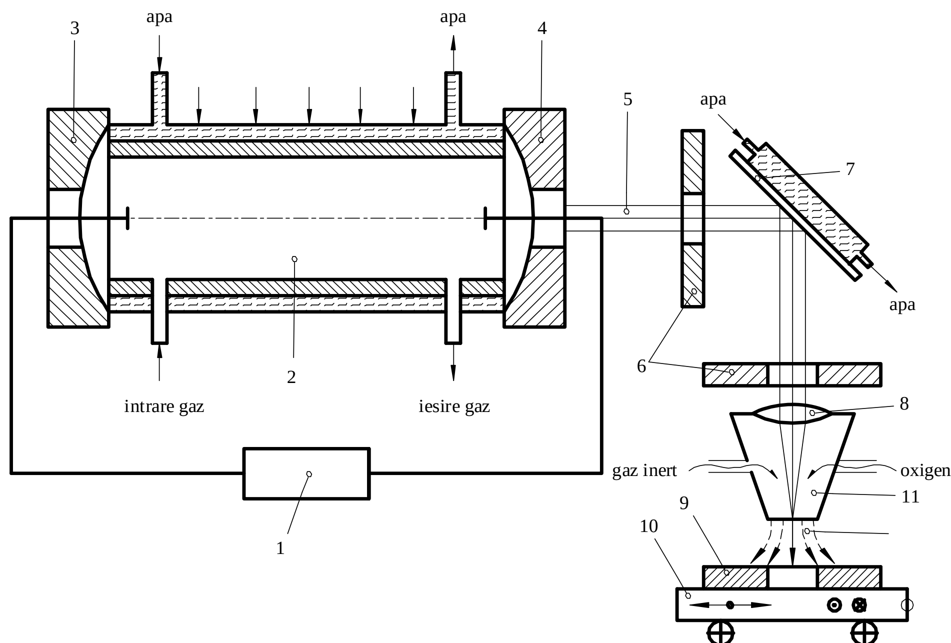


Fig. 4.43. Tăierea cu laser.

Tăierea cu laser este condiționată, în mare măsură de constantele termo-fizice ale materialului. În general, pot fi tăiate uşor materialele care au o diferență mică între temperatura de topire şi cea de vaporizare, precum şi materialele cu conductibilitate termică şi căldură specifică mici. Procedeul se aplică la tăierea oțelurilor-carbon, refractare şi inoxidabile, a Al, Cr, Ta, aliajelor de zirconiu, rubinului, diamantului şi a altor materiale care nu se pot tăia prin tehnologii clasice, aplicându-se îndeosebi în electronică şi mecanica fină.

c) – Găurirea cu laser se utilizează la prelucrarea unor microorificii cu diametre de 0,005…1,5 mm şi lungimi de până la 15 mm, în materiale dure şi extradure (Mo, W, Ti, Ta, oțeluri inoxidabile, carburi metalice, rubin, diamant).

4.8. Prelucrarea prin eroziune cu ultrasunete

4.8.1. Generalități

Ultrasunetele sunt oscilații mecanice ale mediului elastic cu frecvențe de 16…10^7 kHz, ele nefiind percepute de urechea umană. În natură, există mai multe viețuitoare care emit şi recepționează ultrasunete, pentru detectarea hranei sau pentru a se adăposti de duşmani: lilieci, fluturi de noapte, mamifere marine şi

rozătoare mici. Aplicaţiile tehnice ale ultrasunetelor se bazează pe efectul piezoelectric invers, precum şi pe proprietăţile de electrostricţiune sau de magnetostricţiune ale unor materiale (vezi § 3.6.5.2.c,d,e). Datorită unor proprietăţi specifice (lungime de undă mică; posibilitatea de dirijare în spaţiu prin reflexie, refracţie şi difracţie; transport de energie în mediul elastic de propagare; posibilitatea de a se concentra în spaţii limitate; ridicarea temperaturii mediului în care se propagă), ultrasunetele au aplicaţii diverse în tehnică.

În fig. 4.44. se prezintă schema de principiu a eroziunii cu ultrasunete. Distrugerea materialului de pe suprafaţa piesei de prelucrat *1* se produce atunci când scula *2* loveşte una sau mai multe particule abrazive *3*. Energia cinetică a particulelor abrazive amorsează fisuri atât pe suprafaţa piesei de prelucrat, cât şi pe suprafaţa sculei. În suspensia abrazivă *4* se formează bulele de cavitaţiei *5* care, fiind comprimate de sculă, fac implozie, producând presiuni şi temperaturi locale mari ce determină desprinderea particulelor din piesă *6* şi din sculă *7*. Scula este apăsată cu o presiune P = 0,5…4,5 daN/cm^2, iar amplitudinea ultrasunetelor este A = 5…120 μm, la o frecvenţă f = 18…30 kHz. Ca materialele abrazive se utilizează carburi de siliciu sau de bor sau praf de diamant.

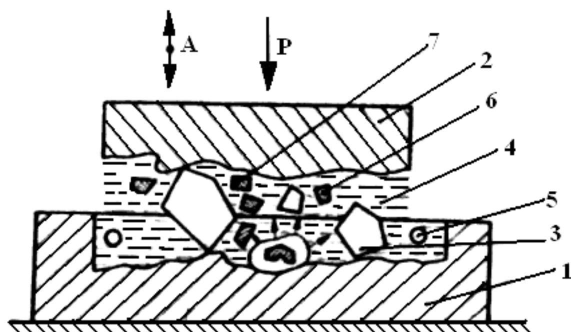


Fig. 4.44. Principiul eroziunii cu ultrasunete.

4.8.2. Maşini de prelucrat prin eroziune cu ultrasunete

Există mai multe tipuri de maşini de prelucrat prin eroziune cu ultrasunete, ele fiind asemănătoare, ca formă constructivă, cu maşinile de frezat universale. Schema constructivă de principiu a unei astfel de maşini fiind trezentată în fig. 4.45. Pe montantul *1* care face corp comun cu batiul *2* se află sania *3* cu blocul ultrasonic. Acesta este format din transductorul magnetostrictiv *4* care transformă curenţii de înaltă frecvenţă emişi de generatorul *GIF* în ultrasunete şi din concentratorul de ultrasunete *5*, sub forma unui paraboloid de rotaţie. La capătul concentratorului se află scula *6* care transmite energia ultrasonică particulelor abrazive purtate de un lichid. Lichidul abraziv este aspirat din rezervorul *Rz* de către pompa P_H, trece prin droselul *D* şi este adus la locul de lucru. Particulele abrazive desprind aşchii foarte mici din piesa *7* care se află în cuva *8*. Săniile *9* şi *10* asigură avansurile rectangulare *II* şi *III*, avansul vertical *I* fiind asigurat de sania 3.

Suspensia abrazivă are şi rolul de evacuare din zona de lucru a particulelor erodate. În acelaşi timp, pe măsură ce particulele abrazive îşi rotunjesc muchiile, pierzându-şi capacitatea de erodare, noi particule abrazive sunt aduse în zona de

lucru prin circuitul hidraulic.

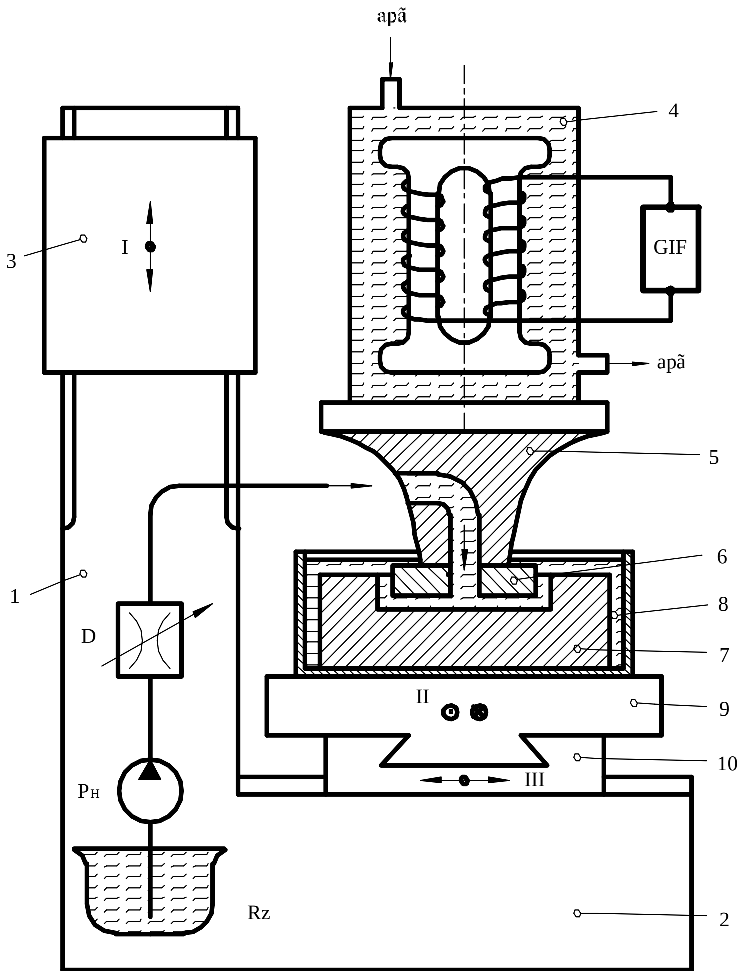


Fig. 4.45. Maşina de prelucrat prin eroziune cu ultrasunete.

4.8.3. Aplicații tehnologice ale prelucrării cu ultrasunete

Prelucrarea cu ultrasunete se aplică îndeosebi materialelor fragile sau extradure. Cu cât fragilitatea este mai mare, cu atât prelucrabilitatea este mai bună. Este vorba de sticlă, rubin, safir, cuarț, ceramică, diamant, ferite, germaniu , siliciu, carburi metalice şi materiale mineralo-ceramice. În fig. 4.46. sunt prezentate aplicațiile reprezentative ale eroziunii cu ultrasunete : *a* – găurire; *b* – debitare, *c* – execuția orificiilor şi cavităților complexe; *d* – perforare sau debitare simultană; *e* – prelucrarea matrițelor şi filierelor; *f* – execuția orificiilor curbe; *g* – finisarea prin rectificare a suprafețelor plane sau profilate; *h* – filetarea unor materiale extradure

neconducătoare electric; *i* – debitare după un contur oarecare; *j* – honuire; *k* – durificarea stratului superficial.

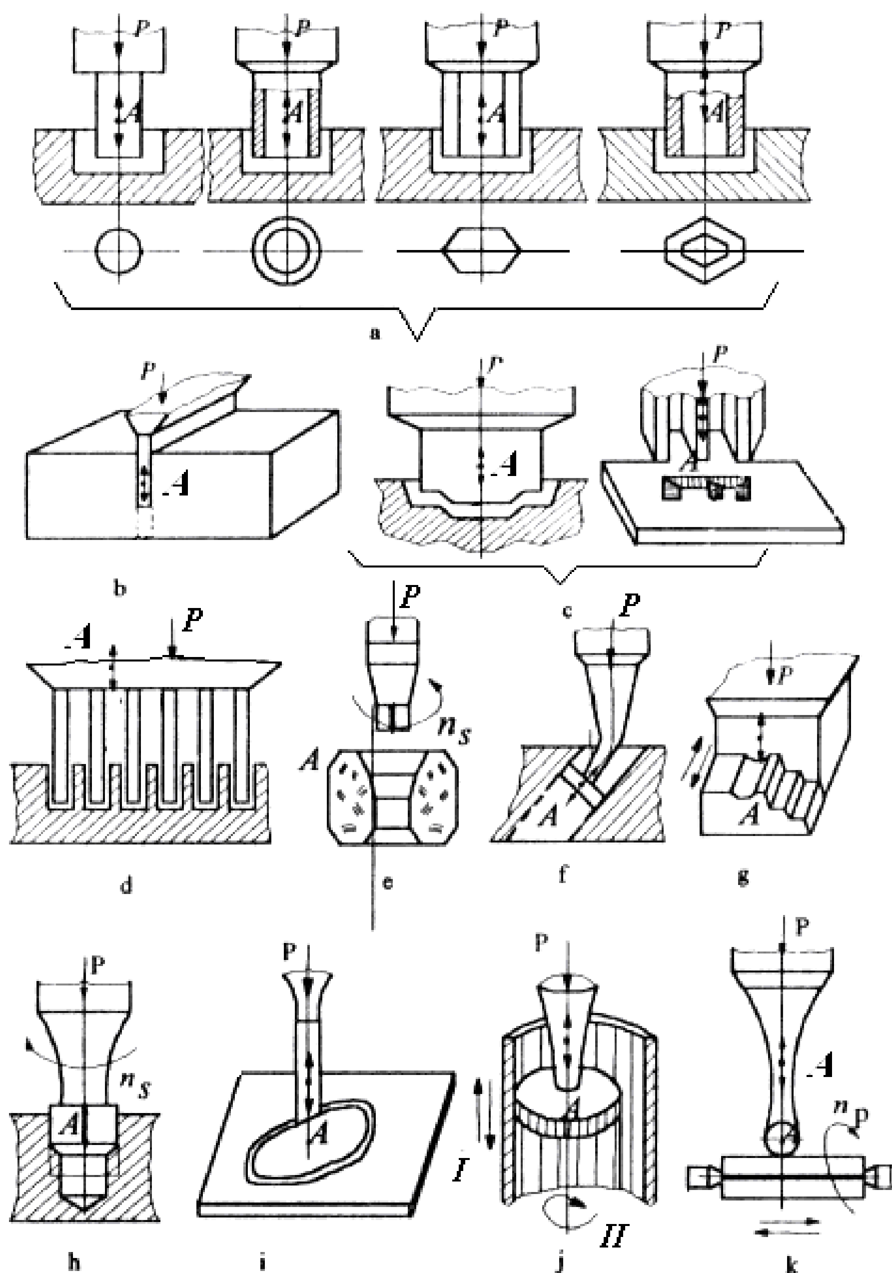


Fig. 4.46. Aplicaţii ale prelucrării cu ultrasunete [7].

DICȚIONAR ROMÂN-ENGLEZ-FRANCEZ DE CUVINTE-CHEIE

A

absorbție de gaze	gas absorption	absorption (*f*) de gaz
adsorbție	adsorption	adsorption (*f*)
alamă	brass	laiton (*m*)
aliaj	alloy	alliage (*m*)
aliaj amorf	amorphous alloy	alliage (*m*) amorphe
aliaj antifricțiune	antifriction alloy	alliage (*m*) antifriction
aliaj cu memoria formei	shape memory alloy	alliage (*m*) à mémoire de forme
aliaje de aluminiu	aluminium alloys	alliages (*m*) d'aluminium
aliaje de cupru	copper alloys	alliages (*m*) de cuivre
aliaje de magneziu	magnesium alloys	alliages (*m*) de magnésium
aliaje de titan	titanium alloys	alliages (*m*) de titane
aliaj eutectic	eutectic alloy	alliage (*m*) eutectique
aliaj hipereutectic	hypereutectic alloy	alliage *(m)* hipereutectique
aliaj hipoeutectic	hypoeutectic alloy	alliage (*m*) hypoeutectique
aliaj mecanic	mechanical alloy	alliage (*m*) mécanique
aliaj neferos	non-ferrous alloy	alliage (*m*) non ferreux
aliaj pentru lipire moale	soft solder alloy	alliage (*m*) de brasage tendre
aliaj tipografic	printing alloy	alliage (*m*) typographique
aliaj uşor fuzibil	low-melting alloy	alliage (*m*) facilement fusible
alotropie	allotropy	allotropie (*f*)
álpaca	German silver	maillechort (*m*)
aluminiu	aluminium	aluminium (*m*)
alungirea relativă la rupere	percentage elongation	allongement (m) pour cent après rupture
aminoplast	aminoplast	aminoplaste (*m*)
austenită	austenite	austénite (*f*)
aşchiere	cutting	coupe (*f*)

B

beinită	bainite	bainite (*f*)
beton	concrete	béton (*m*)

beton amprentat	imprinted concrete	béton (*m*) imprimé
beton antiacid	anti acid concrete	béton (*m*) anti-acide
beton armat	reinforced concrete	béton (*m*) armé
beton autonivelant	self leveling concrete	béton (*m*) autonivelant
beton avansat	advanced concrete	béton (*m*) avancé
beton bituminos	bituminous concrete	béton (*m*) bitumineux
beton celular	aerated concrete	béton (*m*) cellulaire
beton conductor	conductive concrete	béton (*m*) conducteur
beton cu fibre	fiber concrete	béton (*m*) à fibre
beton decorativ	aesthetic concrete	béton (*m*) esthétique
beton fotocatalitic	photocatalytic concrete	béton (*m*) photocatalitique
beton precomprimat	prestressed concrete	béton (*m*) précontraint
beton refractar	refractory concrete	béton (*m*) réfractaire
beton translucid	translucent concrete	béton (*m*) translucide
bioceramică	bioceramic	bio-céramique (*f*)
borurare	boration	boruration (*f*)
bronz	bronze	bronze (*m*)
bronz cu aluminiu	aluminium bronze	bronze (*m*) d´aluminiu m
bronz cu staniu	tin bronze	bronze (*m*) à l´étain

C

calandrare	calendering	calandrage (*m*)
calorizare	calorising	calorisation (*f*)
carbon	carbon	carbone (*m*)
cauciuc butilic	butyl rubber	caoutchouc (*m*) butilique
cauciuc natural	natural rubber	caoutchouc (*m*) naturel
cauciuc nitrilic	nitrile rubber	caoutchouc (*m*) nitrile
cauciuc sintetic	synthetic rubber	caoutchouc (*m*) synthétique
cauciuc stiren-butadienă	styrene-butadiene rubber	caoutchouc (*m*) styrène-butadiène
călibilitate	hardenability	trempabilité (*f*)
călire	hardening	trempe (*f*)
călire izotermă	isothermal hardening	trempe (*f*) isotherme
călire în aer	air hardening	trempe (*f*) à l´air
călire în apă	water hardening	trempe (*f*) à l´eau
călire în trepte	graded hardening	trempe (*f*) à gradins
călire întreruptă	interrupted hardening	trempe (*f*) interrompue
călire în ulei	oil hardening	trempe (*f*) à l´huile
călire superficială	superficial hardening	trempe (*f*) superficielle
căldură specifică	specific heat	chaleur (*f*) spécifique
cărămidă	brick	brique (*f*)
cementare; carburare	cementation; carburizing	cémentation (*f*)
cementită	cementite	cémentite (*f*)

ceramică avansată	advanced ceramic	céramique (*f*) avancée
ceramică de artă	ceramic art	céramique (f) d`art
ceramică feromagnetică	ferromagnetic ceramic	céramique (*f*) ferromagnétique
ceramică industrială	technical ceramic	céramique (*f*) industrielle
ceramică piezoelectrică	piezoelectric ceramic	céramique (*f*) piézoélectrique
ceramică refractară	refractory ceramic	céramique (*f*) réfractaire
ceramică semiconductoare	semiconductor ceramic	céramique (*f*) semiconductrice
ceramică supraconductoare	supraconducting ceramic	céramique (*f*) supraconductrice
ceramică tribologică	tribological ceramic	céramique (*f*) tribologique
ceramică utilitară	utilitarian ceramic	céramique (*f*) utilitaire
cianizare	cyaniding	cyanisation (*f*)
coeficient de dilatare liniară	coeficient of linear expansion	coefficient (*m*) de dilatation thermique
cloropren	chloroprene	chloroprène (*m*)
compozit cu memoria formei	shape memory composite	composite (*m*) à mémoire de forme
compus intermetalic	intermetallic compound	composé (*m*) intermétallique
condensator ceramic	ceramic capacitor	condensateur (*m*) céramique
conductibilitate electrică	electrical conductibility	conductibilité (*f*) électrique
conductibilitate termică	thermal conductibility	conductibilité (*f*) thermique
constantan	constantan	constantan (*m*)
contracție	shrinkage; contraction	contraction (*f*); retrait (*m*)
cristal lichid	liquid crystal	cristal (*m*) liquide
cristalografie	crystallography	cristallographie (*f*)
cromizare	chromising	chromisation (*f*)
cupru	copper	cuivre (*m*)
cuptor cu muflă	muffle furnace	four (*m*) à moufle
cuptor cu rezistență	resistance furnace	four (*m*) à résistance
curbă de încălzire	heating curve	courbe (*f*) de chauffage
curbă de răcire	cooling curve	courbe (*f*) de refroidissement

D

dendrimer	dendrimer	dendrimère (*m*)
dendrită	dendrite	dendrite (*f*)
depolimerizare termică	thermal depolymerization	dépolymerisation (*f*) thermique

diagrama fier-carbon	iron-carbon phase	diagramme (*m*) fer-carbone
diagramă de echilibru	equilibrium diagram	diagramme (*m*)d’équilibre
dielectric	dielectric	diélectrique (*m*)
difuziune	diffusion	diffusion (*f*)
disociere	dissociation	dissociation (*f*)
dizolvare	dissolution	dissolution (*f*)
dizolvare anodică	anodic dissolution	dissolution (*f*) anodique
ductilitate	ductility	ductilité (*f*)
duraluminiu	duralumin	duralumin (*m*)
duritate	hardness	dureté (*f*)

E

elastomer	elastomer	élastomère (*m*)
elasticitate	elasticity	élasticité (*f*)
electrod-sculă	tool-electrod	outil-électrode (*m*)
electroeroziune	electroerosion	électro-érosion (*f*)
eroziune chimică	chemical erosion	érosion (*f*) chimique
eroziune cu plasmă	plasma erosion	érosion (f) à plasma
eroziune electrochimică	electrochemical erosion	érosion (*f*) électrochimique
expandare	expanding	expansion (*f*)
extrudare	extrusion	extrusion *(f)*
extrudare reactivă	reactive extrusion	extrusion (*f*) réactive

F

faianţă	faience	faïence (*f*)
fenoplastă	phenoplast	phénoplaste (*m*)
ferită	ferrite	ferrite (*f*)
feroelectricitate	ferroelecticity	ferroélectricité (*f*)
fibră de aramidă	aramid fiber	fibre (*f*) d`aramide
fibră de bor	boron fiber	fibre (*f*) de bore
fibră de carbon	carbon fiber	fibre (*f*) de carbone
fibră de sticlă	fiberglass	fibre (*f*) de verre
fibră multimodală	multi mode fiber	fibre (*f*) multimode
fibră optică	optical fiber	fibre (*f*) optique
fibră unimodală	single mode fiber	fibre (*f*) monomode
fier	iron	fer (*m*)
filare	spinning	filage (*m*)
fluaj	creep	fluage (*m*)
fluid electroreologic	electrorheological fluid	fluide (*m*) électro-rhéologique
fluiditate	castability	coulabilité (*f*)

fluid magnetoreologic	magnetorheological fluid	fluide (*m*) magnétorhé-ologique
fluid supercritic	supercritical fluid	fluid (*m*) supercritique
fontă	cast iron; pig-iron	fonte (*f*)
fontă albă	white cast iron	fonte (*f*) blanche
fontă antifricțiune	antifriction cast iron	fonte (*f*) antifriction
fontă austenitică	austenitic cast iron	fonte (*f*) austénitique
fontă brută	pig-iron	fonte (*f*) de première fusion
fontă cenuşie	grey cast iron	fonte (*f*) grise
fontă cu grafit lamelar	lamellar graphite cast iron	fonte (*f*) à graphite lamel-laire
fontă cu grafit nodular	spheroidal graphite cast iron	fonte (*f*) à graphite sfero-ïdal
fontă de afinare	steel-making pig-iron	fonte (*f*) d'affinage
fontă de fricțiune	bearing cast iron	fonte (*f*) de friction
fontă de turnătorie	foundry pig-iron	fonte (*f*) de moulage
fontă maleabilă	malleable cast iron	fonte (*f*) malléable
fontă maleabilă cu inimă albă	whiteheart malleable cast iron	fonte (*f*) malléable à coeur blanc; fonte (*f*) européene
fontă maleabilă cu inimă neagră	blackheart malleable cast iron	fonte (*f*) malléable à coeur noir; fonte (*f*) américaine
fontă perlitică	pearlitic cast iron	fonte (*f*) perlitique
fontă refractară	heat resisting cast iron	fonte (*f*) réfractaine
fontă specială	special cast iron	fonte (*f*) fine
forjabilitate	forgeability	forgeabilité (*f*)
formare manuală	manual molding	moulage (*m*)
fragilitate	brittleness; fragility	fragilité (*f*)
furnir	placage	placage (*m*)

G

gâtuire relativă la rupere	reduction of area	striction (*f*) de rupture
granulare	granulation	granulation (*f*)
gresie	stoneware	grès (*m*)

I

izolator ceramic	ceramic insulator	isolateur (*m*) céramique
izolație termică	thermal insulation	isolation (*f*) thermique

Î

înfăşurare	winding	enroulement (*m*)

L

laminare	rolling	laminage (*m*)
ledeburită	ledeburite	lédéburite (*f*)
lemn	wood	bois (*m*)
lipire	gluing	collage (*m*)

M

magnet permanent	permanent magnet	aimant (*m*) permanent
magneziu	magnesium	magnésium (*m*)
maleabilitate	malleability	malléabilité (*f*)
martensită	martensite	martensite (*f*)
masă volumică (densitate)	density	masse (*f*) volumique; poids(*m*) spécifique
materiale avansate	advanced materials	matériaux (*m*) avancés
material ceramic	ceramic material	matériau (*m*) céramique
material compozit	composite material	matériau (*m*) composite
material electrostrictiv	electrostrictive material	matériau (*m*) électrostrictif
material inteligent	smart material	matériau (*m*) intelligent
material magnetostrictiv	megnetostrictive material	matériau (*m*) magnéto-strictif
material magnetic	magnetic material	matériau (*m*) magnétique
material magnetic dur	hard magnetic material	matériau (*m*) magnétique durs
material magnetic moale	soft magnetic material	matériau (*m*) magnétique doux
material magnetic semidur	magnetic material semi rigid	matériau (*m*) magnétique semi-dur
material piezoelectric	piezoelectric material	matériau (*m*) piézoélec-trique
material plastic	plastic	matière (*f*) plastique
material plastic termo-reactiv	thermosetting plastic	plastique (*m*) thermodurcissable
material sandviş	sandwich material	matériau (*m*) sandwich
material stratificat	stratified material	matériau (*m*) stratifié
material supraconductor	superconducting material	matériau (*m*) supracon-ducteur
material termoplast	thermoplastic	matière (*f*) thermoplastique
matrice	matrix	matrice (*f*)
matrice ceramică	ceramic matrix	matrice (*f*) céramique
matrice metalică	metal matrix	matrice (*f*) métallique
matrice organică	organic matrix	matrice (*f*) organique
matrice plastică	plastic matrix	matrice (*f*) plastique

măcinare	grinding	broyage (*m*)
metal	metal	métal (*m*)
metal neferos	non-ferrous metal	métal (*m*) non ferreux
modul de elasticitate	elastic modulus	module (*m*) d'élasticité
mozaic	mosaic	mosaïque (*f*)
muşchi artificial	artificial muscle	muscle (*m*) artificiel

N

nailon	nylon	nylon (*m*)
nitrurare	nitriding; nitrogen hardening	nitruration (*f*)

O

oțel	steel	acier (*m*)
oțel aliat	alloy steel	acier (*m*) allié
oțel avansat de înaltă rezistență	advanced high strength steel	acier (*m*) avancé à haute résistance
oțel aliat de scule	alloy tool steel	acier (*m*) allié à outils
oțel anticorosiv	corrosion resisting steel	acier (*m*) resistant à la corrosion
oțel bifazic	dual phase steel	acier (*m*) biphasé
oțel calmat	killed steel	acier (*m*) calmé
oțel-carbon	carbon steel	acier (*m*) au carbone
oțel-carbon de calitate	quality carbon steel	acier (*m*) au carbone de qualité
oțel-carbon de scule	carbon tool steel	acier (*m*) au carbone à outils
oțel-carbon obișnuit	plain steel	acier (*m*) au carbone de construction
oțel cu modificarea forțată a plasticității	transformation induced plasticity steel	acier (*m*) TRIP
oțel damaschinat	Damascus steel	acier (*m*) damassé
oțel de cementare	carburizing steel	acier (*m*) de cémentation
oțel de scule	tool steel	acier (*m*) à outils
oțel duplex	duplex steel	acier (*m*) duplex
oțel inoxidabil	stainless steel	acier (*m*) inoxydable
oțel martensitic îmbătrânit	martensitic ageing steel	acier (*m*) maraging
oțel multifazic	complex phase steel	acier (*m*) multiphasé
oțel necalmat	rimming (rimmed) steel	acier (*m*) effervescent
oțel pentru arcuri	springs steel	acier (*m*) à ressorts
oțel pentru automate	free-cutting steel	acier (*m*) de décolletage
oțel pentru rulmenți	bearings steel	acier (*m*) à roulements

oţel pentru table de cazane şi recipiente sub presiune	plates steel for boilers and pressure vessels	acier (*m*) à toles pour chaudières et appareils à pression
oţel pentru pile	file steel	acier (*m*) pour limes
oţel pentru ţevi	tubes steel	acier (*m*) à tubes
oţel rapid	high-speed steel	acier (*m*) rapide
oţel refractar	heat-resisting steel	acier (*m*) réfractaire
oţel rezistent la uzură	wear resisting steel	acier (*m*) résistent à l’usure
oţel semicalmat	semi-killed steel	acier (*m*) semi-calmé
oţel turnat	cast steel	acier (*m*) moulé

P

panel	blockboard	panneau (*m*) latté
placaj	plywoood	contreplaqué (*m*)
parchet stratificat	laminate flooring	parquet (*m*) stratifié
perlită	pearlite	perlite (*f*)
placă aglomerată din lemn (PAL)	medium density fiberboard (MDF)	panneau (*m*) de fibres á densité moyenne
placă fibrolemnoasă (PFL)	oriented strand board (OBS)	panneau (*m*) de grandes particules orientées
plasticitate	plasticity	plasticité (*f*)
plumb	lead	plomb (*m*)
poliacetilenă	polyacetilene	polyacétylène (*m*)
poliacrilat	polyacrylate	polyacrylate (*m*)
poliadiţie	polyaddition	polyaddition (*f*)
poliamidă	polyamide	polyamide (*m*)
poliamidă-imidă	polyamide-imide	polyamide-imide (*f*)
polianilină	polyaniline	polyaniline (*f*)
poliarilamidă	polyarylamide	polyarylamide (*f*)
polibutadienă	polybutadiene	polybutadiéne (*m*)
policarbonat	polycarbonate	polycarbonate (*m*)
policlorură de vinil	polyvinyl chloride	polychlorure (*m*) de vinyle
policondensare	polycondensation	polycondensation (*f*)
poliester	polyester	polyester (*m*)
polieteretercetonă	polyetheretherketone	polyétheréthercétone (*f*)
polietilenă	polyethylene	polyéthylène (*m*)
polietersulfonă	polyethersulfone	polyéthersulfone (*f*)
polifenilsulfonă	polyphenilsulfone	polyphénilsulfone (*f*)
polifluorură de viniliden	polyvinylidene fluoride	polyfluorure (*f*) de vinylidène
poliftalamidă	polyphthalamide	polyphthalamide (*f*)
poliimidă	polyimide	polyimide (*f*)
polimer avansat	advanced polymer	polymère (*m*) avancé

polimer biocompatibil	biocompatible polymer	polymère (*m*) biocompatible
polimer biodegradabil	biodegradable polymer	polymère (*m*) biodégradable
polietilenă de înaltă densitate	high-density polyethylene	polyéthylène (*m*) haute densité
polietilenă de joasă densitate	low-density polyethylene	polyéthylène (*m*) basse densité
polietilenă tereftalată	polyethylene terephtalate	polyéthylène (*m*) téréphtalate
polimer	polymer	polymère (*m*)
polimer conductor	conductrice polymer	polymère (*m*) conducteur
polimer cu memoria formei	shape memory polymer	polymère (*m*)) à mémoire de forme
polimer fotonic	photonic polymer	polymère (*m*) photonique
polimerizare	polymerization	polymérisation (*f*)
polipirol	polypyrrole	polypyrrole (*m*)
polipropilenă	polypropylene	polypropylène (*m*)
polistiren	polystyrene	polystirène (*m*)
polisulfonă	polysulfone	polysulfone (*f*)
politetrafluoretilenă	polytetrafluoroethylene	polytétrafluoroéthylène(*m*)
politiofenă	polythiophene	polythiophène (*m*)
poliuretan	polyurethane	polyuréthane (*m*)
porțelan	porcelain	porcelaine (*f*)
prelucrare cu laser	laser machining	usinage (*m*) par laser
prelucrare cu ultrasunete	ultrasonic machining	usinage (*m*) par ultrasons
presare	pressing	pressage (*m*)

R

ranfort	reinforcement	renfort (*m*)
răşină epoxidică	epoxyde resin	résine (*f*) époxidique
răşină fenolică	phenolic resin	résine (*f*) phénolique
răşină poliesterică	polyester resin	résine (*f*) polyester
răşină poliuretanică	polyurethane resin	résine (*f*) polyuréthane
răşină vinilesterică	vinylester resin	résine (*f*) vinylester
reciclare	recycling	recyclage (*m*)
reciclare chimică	chemical recycling	recyclage (*m*) chimique
reciclare mecanică	mechanical recycling	recyclage (*m*) mécanique
recoacere	annealing	recuit (*m*)
refractaritate	refractoriness	réfractarité (*f*)
revenire	tempering	revenu (*m*)
reziliență	resiliency	résilience (*f*)

rezistenţa de rupere la tracţiune	breaking strenght	résistance (*f*) de rupture à la traction
rezistenţă la compresiune	compression strength	résistance (*f*) à la compression
rezistenţă la coroziune	corrosion resistance	résistance (*f*) à la corrosion
rezistenţă la încovoiere	bending strength	résistance (*f*) à la flexion
rezistenţă la forfecare	shear strength	résistance (*f*) au cisaillement
rezistenţă la oboseală	fatique strength	résistance (*f*) à la fatigue
rezistenţă la rupere	ultimate strength	résistance (*f*) de rupture
rezistenţă la şoc	impact strength	résistance (*f*) au choc
rezistenţă la uzură	resistance to wear	résistance (*f*) à l'usure
reţea cristalină	crystal lattice	réseau(*m*) cristallin
rigiditate	rigidity; stiffness	rigidité (*f*)

S

sculă aşchietoare	cutting tool	outil (*m*) de coupe
segregare	segregation	ségrégation (*f*)
siliciere; silicizare	siliconizing	siliconizing (*m*)
silicon	silicone	silicone (*f*)
silumin	alpax; silumin	alpax (*m*); silumin (*m*)
soluţie solidă	solid solution	solution (*f*) solide
solvoliză	solvolysis	solvolyse (*f*))
sorbită	sorbite	sorbite (*f*)
spumă metalică	metal foam	mousse (*f*) métallique
staniu	tin	étain (*m*)
sudare	welding	soudage (*m*)
sudabilitate	weldability	soudabilité (*f*)
superaliaje	superalloys	superalliages (*m*)

Ş

şerardizare	sherardizing	shérardisation (*f*)

T

tehnologie neconvenţională	unconventional technology	technologie (*f*) non conventionelle
temperatură de topire	smelting point	point (*m*) de fusion
tenacitate	tenacity; toughness	ténacité (*f*)
teracotă	terra cotta	terre (*f*) cuite
termistor	thermistor	thermistance (*f*)

transformare peritectică	peritectic transformation	transformation (*f*) péritec-tique
tratament termic	heat treatment	traitement (*m*) thermique
tratament termomecanic	thermomechanical treatment	traitement (*m*) thermo-mécanique
turnare	casting	coulage (*m*); coulée (*f*)
turnare centrifugă	centrifugal casting	coulée (*f*) centrifuge
turnare continuă	continuous casting	coulée (*f*) continue
turnare sub presiune	casting under pressure	coulée (*f*) sous pression

Ț

țiglă	tile	tuile (*f*)

V

varistor	varistor	varistance (*f*)

Z

zinc	zinc	zinc (*m*)

BIBLIOGRAFIE

1. **Abramovici, R.** – *Materii prime ceramice* (2 vol.), Institutul Politehnic *„Traian Vuia*” din Timişoara, 1974.
2. **Achimfa, Şt.** – *Materiale metalice cu proprietăți speciale,* Reprografia Universității *„Dunărea de Jos"* din Galați, 1999.
3. **Alămoreanu, E.**, **Constantinescu, D.M.** – *Proiectarea plăcilor compozite laminate*, Editura Academiei Române, Bucureşti, 2005.
4. **Aliprandi, G.** – *Matériaux réfractaires et céramiques tehniques,* Editions Septima, Paris, 1979.
5. **Ambos, E.** – *Urformtechnik metallisher Werkstoffe,* VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982.
6. **Amza, Gh., Dumitru, G.M., Rîndaşu, V.O.** – *Tehnologia materialelor* (vol.I), Editura Tehnică, Bucureşti, 1997.
7. **Amza, Gh., Rîndaşu, V.O., Dumitru, G.M., Amza, C.Gh.** – *Tratat de tehnologia materialelor* (2 vol.), Editura Academiei Române, Bucureşti, 2002.
8. **Anghel-Sprânceană, F., Anghel, D**. – *Metode şi procedee tehnologice* (vol.II), Editura Printech, Bucureşti, 2006.
9. **Anghel-Sprânceană, F., Popescu, M.O.** – *Tehnologii electromecanice,* Litografia Universității *„Politehnica"* din Bucureşti, 1998.
10. **Arabagian, O., Olaru, Gh., Budeanu, A., Todor, N**. – *Studiul materialelor folosite în minerit,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1967.
11. **Arzamasov, B.** – *Materials Science*, MIR Publishers, Moscow, 1989.
12. **Ashby, F.M., Jones, R.H.D.** – *Engineering Materials 1. An Introduction to Properties, Applications and Design* (fourth edition), Cambridge, 2009.
13. **Axenov, P.N.** – *Turnătoria* (traducere din limba rusă), Editura Tehnică, Bucureşti, 1954.
14. **Badea, S.** – *Forjarea şi extruziunea materialelor metalice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1980.
15. **Bailley, D., Wright, E.** – *Practical Fiber Optics,* Newnes, Oxford, 2003.
16. **Baïlon, J.P., Dorlot, J.M.** – *Des matériaux* (3e édition), Presses Internationales Polytechnique, Montreal, 2002.
17. **Bain, E.C., Paxton, H.W.** – *Les éléments d'addition dans l'acier,* Dunod, Paris, 1968.
18. **Bataev, A.A., Bataev, V.A.** – *Kompoziționnîe materialî*, Universitetskaia Kniga, 2006.
19. **Bathias, C.** – *Matériaux composites* (2e édition), Dunod, 2009.
20. **Baur, E., Brinkmann, S., Schmachtenberg, E.** – *Saechtling Kunststoff Taschenbuch*, Carl Hanser Verlag, 2007.
21. **Béres, L., Komócsin, M.** – *Acélok, öntöttvasak javító-és felrakóhegesztése,*

ESAB Kft., Budapest, 1995.

22. **Bernstein, M.L.** – *Structura deformirovannîh metallov,* Metallurghia, Moskva, 1975.
23. **Berreta, H.** – *Ladrillos de plástico reciclado* (2^0 edicion), Nobuko, 2007.
24. **Berthelot, J.M.** – *Matériaux composites: comportement mécanique et analyse des structures* (4e édition), Lavoisier, 2005.
25. **Bertolotti G., Capitelli, V**.– *Dizionario delle materie plastiche* , Tecniche Nuove, 2007.
26. **Bobkov, A.S., Juraviev, V.S.** – *Proizvodstvennaia bezopasnosti v rezinovoi promîşlennosti*, Izdatelstvo Himmiia, Leningrad, 1980.
27. **Bohosievici, C.** (sub coordonarea) – *Dicționar poliglot de metalurgie şi construcții de maşini*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1996.
28. **Bolgojin, Ş.A., Altaev, Ş.A., Musin, A.M.** – *Sozdanie i primenenie gornogo oborudovaniia iz plastmass v Karagandinskom basseine*, Izdatelstvo Nauka, Alma-Ata, 1977.
29. **Bolunduț, I.L.** – *Tehnologia materialelor plastice şi compozite*, Editura Junimea, Iaşi, 2010.
30. **Bolunduț, I.L.** – *Materiale metalice*, Editura AGIR, Bucureşti, 2004.
31. **Bolunduț, I.L.** – *Tehnologia materialelor şi maşini-unelte,* Litografia Institutului de Mine din Petroşani, 1985.
32. **Bolunduț, I.L., Dumitrescu, I.** – *Maşini- unelte şi prelucrări prin aşchiere,* Editura Tehnica-Info, Chişinău, 1999.
33. **Bolunduț, I.L.** – *Ştiința şi ingineria materialelor,* Editura Junimea, Iaşi, 2010.
34. **Bolunduț, I.L.** – *Ştiința şi ingineria materialelor,* Editura Tehnica-Info, Chişinău, 2010.
35. **Bortnikov, V.G.** – *Osnovî tehnologhii pererabotki plasticeskih mass,* Izdatelstvo Himiia, Leningrad, 1983.
36. **Bost, J**. – *Matières plastiques. Technologie. Plasturgie* (3^e tirage), Lavoisier, 2010.
37. **Bourban, P.E., Carlsson, L., Mercier, J.P., Månson, J.A.** – *Matériaux composites à matrice organique: constituant, procédés, propriétés,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2004.
38. **Brabie, V., Avram, N., Moldovan, P.** – *Elaborarea aliajelor*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1978.
39. **Brandrup, J.** – *Die Wiederverwertung von Kunststoffen,* Carl Hanser Verlag München-Wien, 1995.
40. **Brandt, N.B., Ciudinov, S.M.** – *Elektronaia struktura metallov,* Izdatelstvo Moskovskovo Universiteta, Moskva, 1973.
41. **Brissaud, M.** – *Matériaux piézoélectriques,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2007.
42. **Brozzo, P.** – *Struttura e proprietà meccaniche dei materiali metallici,* ECIG, Genova, 1979.
43. **Budinski, K.G.** – *Engineering Materials - Properties and Selection,* Library

Publishing Company, New Jersey, 1992.

44. **Budnikov, P.P., Berejnoi, A.S., Bulavin, I.A., Grissik, B.M., Kukolev, G.V., Poluboiarinov, D.N.** – *Tehnologia produselor ceramice şi refractare*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1960.
45. **Bujoreanu, L.Gh.** – *Materiale inteligente*, Editura Junimea, Iaşi, 2002.
46. **Burdese, A.** – *Metallurgia e tecnologia dei materiali metallici,* UTET, Torino, 1992.
47. **Buschow, K.H.J.** (editor) – *Concise Encyclopedia of Magnetic and Superconducting Materials* (second edition), PDF, Elsevier Science, 2006.
48. **Cahn, R.W.** – *Physical Metallurgy,* American Elsevier Publishing Company, New York, 1970.
49. **Cahn, R.W., Haasen, P., Kramer, E.J.** – *Materials Science and Technology,* MacMillan Publishing Company, New York, 1991.
50. **Calea, Gh., Drimer, D., Amza, Gh., Gladcov, P.** – *Tehnologie mecanică,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1978.
51. **Callister, W.D.Jr.** – *Materials Science and Engineering – An Introduction,* Ed. John Wiley & Sons (5th edition), New York, 2000.
52. **Cardwell, D.A., Ginley, D.S.** (editors) – *Handbook of Superconducting Materials* (vol I) ▪ *Superconductivity, Materials and Processes,* Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2003.
53. **Cazaud, R., Le Roux, R.** – *Métallurgie. Aide Memoire,* Dunod, Paris, 1970.
54. **Cazimirovici, E., Negulescu, I., Târcolea, M., Răducanu, D.** – *Teoria şi tehnologia deformării prin tragere,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1990.
55. **Cătuneanu, V.M.** (sub coordonarea) – *Materiale pentru electronică,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
56. **Ceauşescu, N., Popescu, I.** – *Tehnologii neconvenţionale* (vol. I.), Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1982.
57. **Cedighian, S.** – *Materiale magnetice – Îndreptar,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1974.
58. **Chermant, J.L.** – *Les céramiques thermomécaniques,* Presses du CNRS, Paris, 1989.
59. **Cheşa, I., Laşcu-Simion, N., Mureşeanu, C, Rizescu, C, Teodorescu, M.S.** – *Mărci şi produse din oţel,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
60. **Cheşa, L, Laşcu-Simion, N., Nedelcu, C, Rizescu, C, Teodorescu, M.S.** – *Alegerea şi utilizarea oţelurilor,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1984.
61. **Ciampaglia, G.** – *Tecnologia dei materiali compositi meccanici ed aeronautici* (2 ed.), IBN Editore, Roma, 2003.
62. **Cincu, C., Manea Gh.** – *Cartea operatorului din industria de prelucrare a materialelor plastice,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1984.
63. **Ciobanu, R.C., Căliman, R.** – *Tehnologia materialelor şi sistemelor compozite,* Rotaprintul Universităţii din Bacău, 1994.
64. **Cobzaru, P. –** *Materiale compozite,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 2004.
65. **Cojocaru-Filipiuc, V.** – *Fonte. Obţinere,* Editura Samia, Iaşi, 2002.

66. **Colan, H., Tudoran, P., Ailincăi, Gh., Marcu, M., Drugescu, E.** – *Studiul metalelor*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.
67. **Collings, P.J.** – *Liquid Crystals* (second edition), Princeton University Press, 2002.
68. **Colombié, M.** – *Matériaux metalliques* (2ème édition), Dunod/L'Usine Nouvelle, 2008.
69. **Colombié, M.** – *Practique de matériaux industriels: propriétés, choix, utilisation*, Dunod, Paris, 1990.
70. **Colombier, L., Hochmann, J.** – *Aciers inoxidables, aciers refractaires*, Dunod, Paris, 1965.
71. **Constantinescu, A**. – *Criterii de alegere rațională a oțelurilor*, OID-ICM, Bucureşti (vol.I - 1998, vol.II - 1998, vol.III - 1999).
72. **Constantinescu, A.** – *Fluajul metalelor*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1970.
73. **Constantinescu R**., **Platon, M.** – *Utilizarea maselor plastice în construcții*, Editura Tehnică, Bucureşti , 1985.
74. **Corbet, C**. – *Matières plastiques. Materiaux. Outillages de mise en forme* , Casteilla, 2009.
75. **Cordebois, J.P., Colombié, M.** – *Fabrication par usinage* (2ème édition), Dunod/L'Usine Nouvelle, 2008.
76. **Crăciunescu, M.** – *Materiale compozite*, Editura SEDONA, Timişoara, 1998.
77. **Crisp, J., Elliott, B.** – *Introduction to Fiber Optics* (third edition), Newnes, Oxford, 2005.
78. **Crişan, A.** – *Elaborarea şi turnarea fontelor*, Reprografia Universității *„Transilvania "* din Braşov, 1996.
79. **Croft, D.N.** – *Heat Treatment of Welded Steel Structures*, Abington Publishing, Cambridge, 1996.
80. **Cuida, O.** – *Fabricarea țevilor de oțel prin laminare şi tragere la rece*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1991.
81. **De Sy, A.V.** – *Métallurgie structurale théorique et appliquée*, Dunod, Paris, 1962.
82. **Degarmo, E.P**., **Black, T. J., Ronald, A.** – *Matériaux et procédés de fabrication* (9^{e} éd.), Wiley, 2003.
83. **Demus, D.** – *Faszinierende Flüssigkristalle*, Libri. Digital, 2007.
84. **Dennis, W.H.** – *Metallurgy of Nonferrous Metals*, London, 1960.
85. **Dieter, E.G. Jr.** – *Metalurgie mecanică* (traducere din limba engleză -SUA), Editura Tehnică, Bucureşti, 1970.
86. **Dimitriu, S., Gheorghe, C, Dimitriu, A., Buțu, M.** – *Tratamentul termic al îmbinărilor sudate*, Editura BREN, Bucureşti, 2002.
87. **Dinu, M.** – *Metale de înaltă puritate*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.
88. **Dobrovici, D., Prisecaru, I., Banciu, M.** – *Metalurgia fontei*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1966.
89. **Dobrowołski, J.A.** – *Concrete Construction Handbook* (fourth edition), McGraw-Hill, 1998.

90. **Domşa, Al., Pálfalvi, A., Nicolae, V., Botha, L., Colan, H., Buzoianu, P. –** *Tehnologia fabricării pieselor din pulberi metalice,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1966.
91. **Domşa, Ş., Miron, Z.** – *Îndrumător pentru utilizarea fontelor, oţelurilor şi aliajelor neferoase,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.
92. **Dondik, I.G.** – *Mehaniceskie ispîtania metallov,* Izdatelstvo Akademii Nauk Ukrainskoi SSR, Kiev, 1962.
93. **Drăgan, I., Ilca, I., Badea, S., Cazimirovici, E.** – *Tehnologia deformărilor plastice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
94. **Du Trémolet de Lacheisserie** (sous la direction de) – *Magnétisme - Matériaux et applications*, EDP Sciences, Grenoble, 1999.
95. **Dulămiţă, T., Vermeşan, G., Munteanu, Al., Vasile, T., Catrinoiu, C., Prejban, I.** – *Tehnologia tratamentelor termice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
96. **Dumitraş, C., Opran, C.** – *Prelucrarea materialelor compozite, ceramice şi minerale*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1992.
97. **Duval, C. –** *Matières plastiques et environnement. Recyclage. Valorisation. Biodégradabilité. Écoconception,* Dunod, 2009.
98. **Effing, M.** – *Rechnerunterstutzte Anlegung und Fertigung von Faserverbundbauteilen*, Diss. T. H., Aachen, 1988.
99. **Eisenstadt, M.M.** – *Introduction to Mechanical Properties of Materials,* MacMillan Publishing Company, New York, 1981.
100. **Fetecău, C., Oancea, N., Stan, F.** – *Prelucrarea mecanică a maselor plastice*, Oficiul de Informare Documentară pentru Industria Construcţiilor de Maşini, Bucureşti, 2000.
101. **Fiterău, V. –** *Metalografie şi proprietăţile metalelor,* Reprografia Universităţii din Braşov, 1979.
102. **Fleşer, T.** – *Modificarea stării oţelurilor supuse solicitărilor termomecanice*, Editura Politehnica, Timişoara, 2002.
103. **Flinn, R.A., Trojan, P.K.** – *Engineering Materials and their Applications* (3rd edition), Houghton Mifflin, Boston, 1986.
104. **François, D.** – *Endommagements et rupture de matériaux*, EDP Sciences, 2004.
105. **Frey, H.** – *Dünnschichttechologie,* VDI Verlag, Düsseldorf, 1987.
106. **Gâdea, S., Petrescu, M.** – *Metalurgie fizică şi studiul metalelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
107. **Gâdea, S., Protopopescu, M.** – *Aliaje neferoase,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1966.
108. **Gale, W.F., Totemeier, T.C.** – *Smithells Metals Reference Book* (8th edition), ASM International, 2004.
109. **Gambhir, M.I**. – *Concrete technology* (third edition), Tata McGraw-Hill, New Delhi, 2004.
110. **Gavrilaş, I., Marinescu, N.I.** – *Prelucrări neconvenţionale în construcţia de maşini* (vol.I), Editura Tehnică, Bucureşti , 1991.

111. **Gavrilaş, I., Marinescu, N.I.** – *Prelucrarea prin electroeroziune şi electrochimic-abrazivă* (2 vol.) Editura Tehnică, Bucureşti, 1980.
112. **Geller, Y.A.** – *Tool Steels,* MIR Publishers, Moscow, 1978.
113. **Georgescu, G.S.** – *Îndrumător pentru ateliere mecanice* (ediția a V-a), Editura Tehnică, Bucureşti, 1972.
114. **Geru, N**. – *Proprietățile metalelor şi metode fizice de control,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1991.
115. **Geru, N., Bane, M., Coşmeleață, G., Gurgu, C, Marin, M.** – *Analiza structurii materialelor metalice,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1991.
116. **Geru, N., Chircă, D., Bane, M., Ripoşan, L, Marin, M., Coşmeleață, G., Biolaru, T.** – *Materiale metalice. Structură. Proprietăți. Utilizări,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.
117. **Gheorghe, C., Ştefan, M.** – *Îndreptar de metale. Obținere. Proprietăți. Utilizări,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1997.
118. **Gheorghieş, C.** – *Controlul structurii fine a metalelor cu radiații X,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1990.
119. **Gherasimov, V.V., Monahov, A.S.** – *Materialî iadernoi tehniki,* Energoizdat, Moskva, 1982.
120. **Giacomelli, I., Munteanu, A.** – *Tratamente termice,* Reprografia Universității din Braşov, 1980.
121. **Gladcov, P., Petrovici, A., Alexandrescu, V., Cosmulescu, D.** – *Tehnologia materialelor* (vol. I, II), Fundația PROINVENT a Universității *„ Politehnica "* din Bucureşti, 1998.
122. **Gontean, A., Gontean, Z.** – *Considerații generale privind utilizarea materialelor plastice în minerit,* Litografia Institutului de Mine, Petroşani, 1978.
123. **Gorelik, S.S.** – *Recrystallization in Metals and Alloys,* MIR Publishers, Moscow, 1981.
124. **Gozzelino G.,** – *Materie plastiche. Struttura, proprieta e applicazioni dei materiali polimerici industriali,* Hoepli , 2007.
125. **Grămescu, T., Slătineanu, L., Braha, V., Sârbu, I.** – *Prelucrabilitatea materialelor,* Editura Tehnica-Info, Chişinău, 2000.
126. **Griffin,G.J.L.** (editor) – *Chemistry and Technology of Biodegradable Polymers,* Blackie Academic & Professional, London, 1994.
127. **Guliaev, A.D.** – *Metallovedenie,* Metallurghizdat, Moskva, 1967.
128. **Gupta, C.K**., **Krishnamurthy, N**. – *Métallurgie extractive de terres rares,* CRC Press, 2005.
129. **Gurevici, S.M.** – *Spravocinik po svarke țvetnîh metallov,* Izdatelstvo Naukova Dumka, Kiev, 1981.
130. **Gutt, G., Palade, D.D., Gutt, S., Klein, F., Schmitt, K.T.** – *Încercarea şi caracterizarea materialelor metalice,* Editura Tehnică, Bucureşti, 2002.
131. **Haussonne, J.M.** – *Céramiques pour l´électronique et l´électrotechnique* (2e édition), Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2002.

132. **Hayes, J**.– *Manual del Tecnico de Fibra Optica*, Delmar Pub, 2006.
133. **Hătărăscu, O.** – *Drumul fierului*, Editura Albatros, Bucureşti, 1985.
134. **Hătărăscu, O., Vlădescu, M., Scorțea, C., Cuida, O., Ancuț, R**. – *Îndreptar de metalurgie*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.
135. **Hellerich, W., Harsch, G., Haenle, S.** – *Werkstofführer Kunststoffe-Eigenschaften, Prüfungen, Kennwerte,* Carl Hanser Verlag, 2010.
136. **Hensen, F.**, **Berghaus, U**. – *Plastics Extrusion Technology* , Carl Hanser Verlag, Munich, 1997.
137. **Hergenrother, P.M., Connell, J. W. –** *Advances in Polymer Science,* Springer-Verlag, Berlin, vol.117, pp. 67…110, 1994.
138. **Higgins, R.A.** – *Engineering Metallurgy*, ELBS, Kent, 1986.
139. **Homorodean, L.** – *Studiul unor supraconductori cu temperaturi critice înalte*, Teză de doctorat, Universitatea *Babeş-Bolyai* din Cluj-Napoca, 2002.
140. **Hornbogen, E., Eggeler, G., Werner, E.** – *Werkstoffe*, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
141. **Horun, S., Păunică, T., Sebe, O.M., Şerban, S.** – *Memorator de materiale plastice*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.
142. **Huheey, J., Keiter, E., Keiter, R.** – *Chimie inorganique* (traduit de l´anglaise), De Boeck &Larcier s.a., Paris, Bruxelles, 1996.
143. **Iancău, V., Nica, D.** – *Tratamente termice cu azot şi carbon*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1999.
144. **Iclănzan, T. –** *Plasturgie - Tehnologia prelucrării materialelor plastice.* Centrul de Multiplicare al Universității Tehnice din Timişoara, 1995.
145. **Iclănzan, T.** – *Tehnologia prelucrării materialelor plastice şi compozite*, Editura Politehnica, Timişoara, 2006.
146. **Ienciu, M., Moldovan, P., Panait, N., Buzatu, M.** – *Elaborarea şi turnarea aliajelor neferoase speciale*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985.
147. **Ifrim, A., Noțingher, P.** – *Materiale electrotehnice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1992.
148. **Ileana, F**. – *Materiale electrotehnice şi electronice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1993.
149. **Iordănescu, P.** – *Metalul înaripat*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
150. **Ispas, Şt.** – *Materiale compozite,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1987.
151. **Janot, C. Ilschner, B.** – *Matériaus émergents,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2001.
152. **Jaoul, D.B.** – *Etude de la plasticité et application aux métaux*, Presses de l´École des Mines de Paris, 2008.
153. **Jinescu, V.V.** – *Proprietățile fizice şi termomecanica materialelor plastice* (2 vol.), Editura Tehnică, Bucureşti, 1979.
154. **Jutz, H., Scharkus, E.** – *Westerman Tables for the Metal Trade*, New Age International Publishers, New Delhi, 2006.
155. **Kachanov, L.M.** – *Fundamentals of the Theory of Plasticity,* Mir Publishers, Moscow, 1974.

156. **Kathrein, A., Moldovan, P.** – *Utilajul şi tehnologia de elaborare şi turnare a aliajelor neferoase,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1980.
157. **Keil, T.** – *Spanende Bearbeitung von Verbundwerkstoffe*, Diplomatica Verlag GmbH, Hamburg, 2009.
158. **Kern, R.F., Suess, M.E.** – *Steel Selection,* J. Willez & Sons, New York, 1979.
159. **Koller, E.** – *Dictionnaire encyclopédique des sciences des matériaux,* Éditions Dunod, 2008.
160. **Koller, E.** – *Dictionnaire encyclopédique du génie des procédés,* Éditions Dunod, 2006.
161. **Krauss, G.** – *Principles of Heat Treatment of Steel,* American Society for Metals Park, Ohio, 1980.
162. **Krenkel, W.H.** – *Ceramic matrix composites: fiber reinforced ceramics and their applications,* John Wiley, New York, 2008.
163. **Krishna Reddy, L.** – *Principles of Engineering Metallurgy,* New Age International Publishers, New Delhi, 1996.
164. **Kulshreshtha, A.K., Vasile, C.** – *Handbook of Polymer Blends and Composites* (vol.2), Rapra Technology Ltd., Shawbury, 2002.
165. **Kurz, W., Mercier, J.P., Zambelli, G.** – *Introduzione alla Scienza dei Materiali,* Ed. Hoepli, Milano, 1994.
166. **La Mantia, F**. – *Handbook of Plastics Recycling,* Rapra Technology, Shrewsbury, UK, 2002.
167. **Lachnitt, J.** – *Les matériaux réfractaires,* Presses Universitaires de France, Paris, 1983.
168. **Lagoudas, D.C.** – *Shape Memory Alloys: Modeling and Engineering Applications,* Spriger, 2008.
169. **Lee, S.** – *Dictionary of Composite Materials Technology*, CRC Press LLC, Palo Alto, California, 1995.
170. **Lendlein, A.** – *Shape-Memory Polymers,* Springer, 2010.
171. **Leyens, C., Peters, M.** (editors) – *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications,* Wiley-VCH Verlag GmbH, 2003.
172. **Lozovan, M., Dobrea, V., Craus, M.C., Cornei, N**. – *Materiale avansate,* Editura Alfa, Iaşi, 2008.
173. **Lupescu, M.B. –** *Fibre de armare pentru materialele compozite,* Editura Tehnică, Bucureşti, 2004.
174. **Magyari, A.** – *Utilaje de preparare a substanțelor minerale utile,* Editura Tehhnică, Bucureşti, 1983.
175. **Manzke, C**. – *Lichtwellenleiter – Technik,* Expert-Verlag GmbH, 2007.
176. **Marinescu, N.I., Gavrilaş, I., Vişan, A., Marinescu, R.D.** – *Prelucrări neconvenționale în construcția de maşini* (vol.II), Editura Tehnică, Bucureşti, 1993.
177. **Mihalcu, M.** – *Materiale plastice armate,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1986.
178. **Mihăilă, I** – Tehnologii neconvenționale (ediția a 2-a), Editura Universității din Oradea, 2003.

179. **Million, A., Million, C.** – *Lipirea şi aliaje de lipit*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.
180. **Milon, M.C.** – *Glossaire du traitement thermique* (3e édition), Dunod / Pyc Éditions, 2007.
181. **Miloşan, I.** – *Procedee unitare în metalurgie*, Reprografia Universităţii *„Transilvania"* din Braşov, 1998.
182. **Miravete, A**. – *Materiales Compuestos*, Editorial Reverté S.A., Barcelona, 2007.
183. **Mitelea, I. –** *Ştiinţa materialelor* (vol.II), Editura Politehnica, Timişoara, 2010.
184. **Mitov, M.** – *Les cristaux liquides*, Presses Universitaires de France (PUF), 2000.
185. **Moga, A.** – *Materiale în construcţia de maşini*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1964.
186. **Moldovan, P., Brabie, V., Tocaci, L., Badea, S., Nagy, I., Cazimirovici, E., Florian, E.** – *Tehnologii metalurgice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
187. **Moldovan, V., Maniu, A.** – *Utilaje pentru deformări plastice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
188. **Morris, D.G., Naka, S., Caron, P. –** *Intermetallics and Superalloys*, Willey – VCH Verlag GmbH, 2000.
189. **Motoaşcă, S.D.** – *Studiul caracteristicilor magnetice ale materialelor magnetice moi*, Teză de doctorat, Universitatea „*Transilvania*” din Braşov, 2010.
190. **Mougin, J.P.** – *Béton armé*, Eyrolles, 2000.
191. **Murray, G.T.** – *Introduction to Engineering Materials*, Library Publishing Company, New York, 1992.
192. **Murri, G.** – *Aide-mémoire. Métallurgie, métaux, alliages, propriété.* Dunod, Paris, 2004.
193. **Nagy, I.I.** – *Ultrasunetele şi utilizarea lor*, Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1982.
194. **Nanu, A.** – *Tehnologii neconvenţionale*, Editura Augusta, Timişoara, 2003.
195. **Nanu, A.** – *Tehnologia materialelor*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1977.
196. **Nardin, M.** – *Metalele şi alte elemente de înaltă puritate,* Editura Academiei Române, Bucureşti, 2002.
197. **Nardin, M.** – *Constituţia aliajelor binare* (ediţia a II-a), Bucureşti, 2002.
198. **Natterer, J., Sandoz, J.L., Rey, M.** – *Construction en bois. Matériaux, technologie et dimensionnement*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2005.
199. **Neintzel, M. –** *Handbuch Verbundwerkstoffe*, Hanser Verlag,2004.
200. **Newmann, J., Choo, B.S**. (editors) – *Advanced Concrete Technology*, Ensevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003.
201. **Nica, A.** – *Ceramica tehnică*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1988.

202. **Nicolae, A., Luca, V., Ilie, A., Calea, Gh. Gh.** – *Materiale ceramice refractare pentru instalații termotehnologice*, Editura Fair Pertners, Bucureşti, 1999.
203. **Nocivin, A.** – *Materiale avansate: materiale compozite; materiale metalice cu proprietăți speciale, „Ovidius”* University Press, Constanța, 2001
204. **Oprea, F.** – *Teoria proceselor metalurgice. Metale neferoase,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1966.
205. **Oprea, F., Ilinescu, E., Segărceanu, T., Vişa, I.** – *Metalurgiile elementelor însoțitoare ale metalelor neferoase uzuale,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1968.
206. **Oprea, F., Oprea, S., Olaru, F.** – *Metalurgia plumbului, cuprului şi zincului,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1965.
207. **Oprea, F., Taloi, D., Constantin, I., Roman, R.** – *Teoria proceselor metalurgice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1978.
208. **Pálfalvi, A., Mehedințeanu, M., Andrei, E., Nicolae, V., Breştin, A., Şontea, S., Floriganță, Gh.** – *Tehnologia materialelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985.
209. **Pawłowski, L.** – *Dépôts physiques: Techniques, microctructures et propriétés,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2003.
210. **Păunel, M.A.** – *Combaterea coroziunii structurilor din oțel supraterane,* Editura BREN, Bucureşti, 2002.
211. **Pešina, E.** – *Zaklady ujite teorie plastițiti,* Nakladatelstvi Techničke Literatury, Praha, 1966.
212. **Petitet, G., Barquins, M.** – *Matériaux caoutchouteux,* Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 2008.
213. **Philibert, J., Vignes, A., Bréchet, Y., Combrade, P.** – *Métallurgie, du minerai au matériau,* (2e édition), Dunod, Paris, 2002.
214. **Pichon, J.-F**. – *Aide-mémoire. Injection des matières plastiques* (2^{e} édition), Dunod, 2005.
215. **Picoş, C., Coman, Gh., Slătineanu, L., Grămescu, T.** – *Prelucrabilitatea prin aşchiere a aliajelor feroase*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1981.
216. **Popa, A., Olaru, P.** – *Plumbul şi zincul*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.
217. **Popescu, I., Dumitraş, C., Savu, T., Dumitrescu, A., Purcărea, M., Tonoiu, S.** – *Tehnologia prelucrării pieselor din materiale clasice şi compozite* (2 vol.), Editura MATRIX ROM, Bucureşti, 2000.
218. **Popescu, N., Şaban, R., Bunea, D., Pencea, I.** – *Ştiința materialelor pentru ingineria mecanică* (vol.2), Editura Fair Partners, Bucureşti, 1999.
219. **Popescu, V.I., Chiriac, C.** – *Oțeluri rapide,* Editura AGIR, Bucureşti, 2002.
220. **Popescu, N., Şaban, R., Bunea, D., Pencea, I.** – *Ştiința materialelor pentru ingineria mecanică* (vol.2), Editura Fair Partners, Bucureşti, 1999.
221. **Popescu, V., Horovitz, O., Rusu, T** – *Materialele polimerice şi mediul,* Editura Mediamira, Cluj-Napoca, 2005.
222. **Popovici, E., Dvininov, E**. – *Materiale nanostructurale avansate. Prezent şi viitor* (vol.I), Editura Demiurg, Iaşi, 2007.

223. **Pumnea, C., Ioniță, N., Şontea, S.** – *Tehnologii din industria metalurgică şi prelucrătoare,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
224. **Quevron, L., Quedin, L.** – *Cours de métallurgie*, Eyrolles, Paris, 1972.
225. **Radhakrishnan, V.M.** – *Welding Technology & Design*, New Age International Publishers, New Delhi, 2005.
226. **Rakhit, A.K**. – *Heat Treatment of Gears – A Practical Guide for Engineers,* ASM International, 2000.
227. **Rădoi, M., Huzum, N., Rantz, G., Baciu, E., Crivac, Gh., Dinică, C., Dragomir, I.** – *Recondiționarea pieselor,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1986.
228. **Rău, A., Vacu, S.** – *Elaborarea oțelurilor de scule,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1964.
229. **Reed, C.R. –** *The Superalloys:Fundamentals and Applications,* Cambridge University Press, 2006.
230. **Reed, R.E.** – *Physical Metallurgy Principles*, Van Nostrand, New York, 1977.
231. **Reinboth, H.** – *Technologie und Anwendung magnetischer Werkstoffe,* VEB Verlag Technik, Berlin, 1970.
232. **Richards, C.W.** – *La science des matériaux de l'ingénieur*, Dunod, Paris, 1965.
233. **Rolfe, R.T.** – *A Dictionary of Metallography,* Chapman & Hall Ltd., London, 1949.
234. **Rubin, I**. – *Handbook of Plastic Materials and Technology* , Wiley, 1990.
235. **Salinas, M.H.** – *Untersuchung flüchtiger Verbindungen bei der thermischen Zersetzung von stickstoffhaltigen Polymerwerkstoffen,* Die Dissertation Technischen Universität München, 2001.
236. **Sălăgean, T.** – *Oțeluri pentru construcții sudate,* Editura Facla, Timişoara, 1974.
237. **Schwarz, O., Ebeling, F.W., Furth, B.** – *Kunstoffverarbeitung,* Vogel-Buchverlag, 2009.
238. **Serafini, T.T., Delvigs, P., Lightsey, R. –** *Preparation of Polyimides from Mixtures of Monomeric Diamines and Esters of Polycarboxilic Acids,* US Patent N^0 3745149, July 1973.
239. **Sha, W.**, **Guo, Z**. – *Maraging Steels: Modeling of Microstructure, Properties and Applications* , Woodhead Publishing Limited, 2009.
240. **Sha, W., Malinov, S. –** *Titanium Alloys: Modeling of Microstructure, Properties and Applications,* Woodhead Publishing Limited, England, 2005.
241. **Shekelford, J.F.** – *Introduction to Materials Science for Engineers,* MacMillan Publishing Company, New York, 1992.
242. **Shriver, D.F., Atkins, P.W., Overton, T.L., Rourke, J.P., Weller, M.T., Armstrong, F.A.** – *Inorganic Chemistry,* WH Freeman, New York, 2006.
243. **Simionescu, Gh.** – *Tehnologia materialelor: materiale plastice; acoperiri de protecție,* Editura Alma Mater, Bacău, 2001.
244. **Singh, O., Bhavikatti, S.S.** – *Introduction to Mechanical Engineering,* New Age International Publishers, New Delhi, 2006.

245. **Smithels, C.J.** – *Metals Reference Book* (5th edition), Butterworths, London-Boston, 1978.
246. **Sofroni, L.** – *Elaborarea şi turnarea aliajelor. Fonte, oţeluri şi aliaje neferoase,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1975.
247. **Solá, P.M.** – *Electromecanizado: electroerosión y mecanizado electroquimico,* MARCOMBO S.A., Barcelona, 1989.
248. **Spur, G.** – *Keramikbearbeitung,* Carl Hauser Verlag, München, 1989.
249. **Srivastava, C.M., Srinivasan, C.** – *Science of Engineering Materials,* New Age International Publishers, New Delhi, 1997.
250. **Stanimir, A.** – *Aşchierea oţelurilor cu duritate mare,* Editura Universitaria, Craiova, 1997.
251. **Stoian, L., Pálfalvi, A., Nicolae, V., Maniu, A.** – *Tehnologia materialelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1980.
252. **Stoica, V., Stoica, N.** – *Utilizarea raţională a materialelor* (vol I), OID-ATMCGF, Bucureşti, 1979.
253. **Strobel, O.** – *Lichtwellenleiter – Übertragungs und Sensortechnik*, VDE Verlag, 2002.
254. **Strojev, M.B.** – *Teoria obrabotki metallov dovleniem,* Maşinostroenie, Moskva, 1971.
255. **Suciu, V., Suciu, M.V**. – *Studiul materialelor,* Editura FAIR PARTNERS, Bucureşti, 2008.
256. **Surugiu, I.** – *Tehnologii moderne. Prelucrarea prin electroeroziune,* (vol.I), Editura Electra, 2008.
257. **Şaban, R., Vasile, T., Bunea, D., Gheorghe, D., Brânzei, M., Ioniţă, Gh.** – *Studiul şi ingineria materialelor,* Editura Didactică şi Pedagogică R.A., Bucureşti, 1995.
258. **Şaban, R., Dumitrescu, C.** – *Tratat de ştiinţa şi ingineria materialelor metalice. Metale. Aliaje. Materiale speciale. Materiale compozite* (vol.3), Editura AGIR, Bucureşti, 2009.
259. **Şahrai, M.L.** – *Peredovie tehnologhiceskie proţesî* v *maşinostroenii,* Maşghiz, Moskva, 1950.
260. **Şerban, V.A., Răduţă, A.** – *Ştiinţa şi ingineria materialelor,* Editura Politehnica, Timişoara, 2010.
261. **Ştefănescu, F., Neagu, G., Mihai, A.** – *Materiale compozite,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1996.
262. **Teoreanu, I., Ciocea, N.** – *Tehnologia produselor ceramice şi refractare,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.
263. **Toderaş, M.** – *Încercări pe materiale,* Editura Focus, Petroşani, 2008.
264. **Totten, G.E.** – *Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies* (2th edition), CRC Press, New York, 2006.
265. **Truşculescu,** M. – *Studiul metalelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1977.
266. **Truşculescu, M., Ieremia, A.** – *Oţeluri inoxidabile şi refractare,* Editura Facla, Timişoara, 1983.

267. **Ursache, M., Chircă, D.** – *Proprietăţile metalelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.
268. **Vacu, S., Dragomir, I., Oprea, S.** – *Metalurgie generală,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1975.
269. **Vasilieva, V.V.** (pod red.) – *Kompoziţionnîe materialî – Spravocinik*, Maşinostroenie, Moskva, 1990.
270. **Vlase, S. –** *Materiale compozite. Metode de calcul*, Editura Universităţii „*Transilvania*”, Braşov, 2007.
271. **Voicu, M., Gladcov, P., Amza, Gh., Szel, P., Drimer, D., Iova, R.** – *Tehnologia materialelor,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1981.
272. **Wegst, C.W.** – *Stahlschüssel,* Verlag Stahlschüssel Wegst GMBH, Marbach, 1985.
273. *** * * –** *Catalogul Standardelor române – 2009,* Editura ASRO, Bucureşti, 2010.
274. *** * * –** *Dicţionar cronologic al ştiinţei şi tehnicii universale,* Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1979.
275. *** * * –** *Dubbel. Manualul inginerului mecani*c (traducere din limba engleză), Editura Tehnică, Bucureşti, 1998.
276. * * * **–** EN 573/1-4 – *Aluminium and aluminium alloys.*
277. * * * **–** *Fonte şi oţeluri turnate (CSCM-*F_0*),* Culegere de standarde comentate, OID-ICM, Bucureşti, 1996.
278. *** * * –** *Hütte. Manualul inginerului* (traducere din limba germană după ediţia a 29-a), Editura Tehnică, Bucureşti, 1995.
279. *** * * –** *Les céramiques industrielles*, Etude réalisée par Centre d`Animation Regional en Matériaux Avancés, France, 1999.
280. *** * * –** *Lexiconul tehnic român* (vol. 1...18), Editura Tehnică, Bucureşti, 1957...1966.
281. *** * * –** *Manualul inginerului metalurg* (2 vol.), Editura Tehnică, Bucureşti, 1978 (vol. I) şi 1982 (vol. II).
282. *** * * –** *Materiale plastice (CSCM – Mp_4, CSCM – MP_5, CSCM – Mp_6), Culegeri de standarde comentate*, OID – ICM, Bucureşti, 1998.
283. *** * * –** *McGraw – Hill Encyclopedia of Science and Technology* (7th edition), New York, 1992 (vol. 1... 20).
284. *** * * –** *Metale şi aliaje neferoase (CSCM-N_1 CSCM-N_2, CSCM-N_3), Culegere de standarde comentate,* OID-ICM, Bucureşti, 1994.
285. *** * * –** *Metals Handbook, Non-ferrous Metals*, Ohio, 1980.
286. *** * * –** *Mică enciclopedie de metalurgie,* Editura Ştiinţifică şi Enciclopedică, Bucureşti, 1980.
287. *** * * –** *Oţeluri (CSCM-O_1 CSCM-O_2, CSCM-O_3, CSCM-O_4),* Culegere de standarde comentate, OID-ICM, Bucureşti, 1994-1995.
288. *** * * –** *Teoreticeskie: eksperimentalnîe isspledovaniia abrazivnîh materialov,* Academiia Nauk SSSR. Uralskii Naucinîi Ţentr, Sverdlovsk, 1982.
289. *** * * –** *The New Encyclopœdia Britannica*, (15th edition), Chicago, 1994.
290. *** * * –** *Welt-Bergbau Daten,* Reihe A, Heft 11, Wien, 1996.



născut la 20 decembrie 1947, în comuna Bucium, judeţu Alba, este absolvent al Liceului *„Horia, Cloşca şi Crişan* din Abrud, în anul 1966 şi al *Facultăţii de Electromeca-nică Minieră* a *Institutului de Mine* din Petroşani, în anu 1971. După terminarea facultăţii, lucrează la Întreprin-derea Minieră Moldova Nouă, până în 1977, când devin asistent la *Catedra de Maşini Miniere* a Institutului d Mine din Petroşani.

Şef de lucrări în anul 1980, conferenţiar în 1990 devine în anul 2000 profesor la Universitatea din Petroşani, în prezent fiin titularul disciplinelor *Ştiinţa şi ingineria materialelor, Materiale şi tehnologi neconvenţionale* şi *Maşini-unelte şi prelucrări prin aşchiere*. A obţinut titlu ştiinţific de doctor-inginer în anul 1982, cu teza intitulată *„Contribuţii asupr îmbunătăţirii construcţiei instalaţiilor mobile de perforat pentru săpare lucrărilor miniere subterane*”.

A publicat şapte cărţi ca unic sau principal autor, din care trei î străinătate, precum şi 95 de lucrări ştiinţifice, din care 20 în străinătate. Î domeniul activităţii tehnice a participat la elaborarea a 45 de studii executate p bază de contracte de cercetare ştiinţifică, încheiate cu unităţi de cercetare proiectare şi producţie din ţară. A participat la numeroase simpozioane ş conferinţe ştiinţifice naţionale şi internaţionale.

Este secretar ştiinţific al Consiliului Facultăţii de Inginerie Mecanică ş Electrică a Universităţii din Petroşani, editorul publicaţiei ştiinţifice *„Annals o the University of Petroşani*” care are cinci secţiuni şi membru al mai multo asociaţii profesionale şi ştiinţifice din România şi străinătate.